

Jarkko Parviainen

Kiinteistön jäähdytysjärjestelmät ja niiden automaatioliitännät

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Automaatiotekniikka

Insinöörityö

8.5.2016

Tekijä(t) Otsikko Sivumäärä Aika	Jarkko Parviainen Kiinteistön jäähdytysjärjestelmät ja niiden automaatioliitännät 61 sivua + 3 liitettä 8.5.2016
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Automaatiotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	
Ohjaaja(t)	Lehtori Timo Tuominen Asiantuntijapäällikkö Jukka Niiranen
<p>Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli kasvattaa tietämystä kiinteistöjen jäähdytysratkaisuista ja antaa hyvät pohjatiedot jäähdytysjärjestelmiin liittyviin prosesseihin ja niiden hallintaan. Työssä tutkitaan jäähdytysjärjestelmien käsitteitä sekä niihin vaikuttavia ilmiöitä ja käydään läpi eri käytössä olevia jäähdytysjärjestelmiä ja kylmälaitoksia. Työssä selvitetään jäähdytysprosesseista kylmäteknikkaan liittyvät asiat ja itse kylmäprosessin toiminta. Kylmäteknikan lisäksi kiinteistön jäähdytykseen kuuluu sisäilmaston eri osa-alueet ja niiden hallinta. Pääpainona kiinteistöissä oleviin järjestelmiin pidetään välillisten liuoslauhdutinviesiemien toimintaympäristöä. Jäähdytysjärjestelmien toiminnan lisäksi työssä vertaillaan ja tutustutaan jäähdytysenergian laskentaan, termeihin ja alalla vallitseviin laskentakäytäntöihin.</p> <p>Rakennusautomaation kannalta käydään kylmälaitoksien automaatioliitännät ja niiden sovellukset läpi. Ohjelmointi tehdään sillä periaatteella, että se on helposti muunneltavissa oleva automaatio sovelluspohja, jolla erilaiset laitokset on nopea ottaa käyttöön ja liittää automaatiojärjestelmään. Automaatiojärjestelmänä ja ohjelmointipohjana toimii Siemensin Xworks Plus -ohjelmistoympäristö, jonka sovellukset liitetään Siemensin Desigo Insight -järjestelmään. Ohjelmistoa ei vielä keretty tämän työn aikana käyttöönottaa ja lopullisesti testata sopivassa kohteessa, koska yhtään isompaa kylmälaitosta ei kohdalle sattunut. Sopivan kohteen kohdalla ohjelmistolle tehdään loppukorjaukset ja hienosäädöt, jonka jälkeen sen voi jakaa laajempaan käyttöön sovelluspohjana tuleville kohteille.</p>	
Avainsanat	Jäähdytys, rakennusautomaatio, Siemens

Author(s) Title Number of Pages Date	Jarkko Parviainen HVAC cooling systems and integration to building automation system 61 pages + 3 appendices 8 May 2016
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Automation Engineering
Specialisation option	
Instructor(s)	Timo Tuominen, Lecturer Jukka Niiranen, System Specialist Manager
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to expand knowledge about cooling technologies in today's building solutions and to provide good basic knowledge of cooling processes and controls. One objective of this thesis was to examine the concepts of cooling, related phenomena and consider the different cooling systems, chillers and solutions that are widely used in the field today. Another objective was to study chiller technologies, principles, processes and workflows. Chiller technologies are only one part of the whole cooling solution, as the final work in the buildings is done with the air systems. This thesis covers today's most commonly used principles of air systems.</p> <p>The main focus of research is on systems that use water or liquid solution to transfer heating or cooling from chillers to different parts of the building to heat or cool exchangers. Other main parts involve understanding energy calculations around cooling, different terminologies used and the basic ways of calculation how cooling systems are measured. The empirical programming and automation part of the study involves connecting cooling solutions to building automation systems and how to maintain the cooling process. Automation program is programmed observing the principle that the end programs are easily modified for different solutions and are fast to take in use on-site and connect to automation stations. The automation system that the programming is done with is Siemens Desigo Insight. It is an automation system that is made specifically for building technologies and the programming is done with Siemens Xworks Plus programming suite.</p> <p>The final program that was created during this study never managed to be field-tested thoroughly withing the scope of this study, because a case of a cooling solution of the size considered in this thesis was not available. When a building of an adequate size becomes available, the final field-testing and fine-tuning will be conducted to get it running smoothly. After that, it can be adopted for wider use.</p>	
Keywords	Cooling, Automation, Siemens

Sisältö

1	Johdanto	1
1.1	Taustaa	1
1.2	Tavoite	2
2	Teoriaa jäähdytyksestä ja siihen vaikuttavista ilmiöistä	3
2.1	Rakennuksen sisäilmasto	3
2.2	Sisäilmaston vaatimukset	4
2.3	Rakennuksen jäähdytystarve	5
2.3.1	Tuntuva lämpökuorma ja kosteuskuorma	5
2.3.2	Jäähdytystarpeen arviointi ja laskeminen	7
2.3.3	Kosteuden vaikutus ja laskeminen	8
2.4	Jäähdytysenergian laskenta	10
3	Kylmälaitoksen osat ja komponentit	15
3.1	Suorajäähdytys ja välillinenjäähdytys	16
3.2	Kylmälaitoksen toiminta	17
3.3	Kylmäainepiirin toiminta ja komponentit	19
3.4	Kompressorit	21
3.5	Vesi- ja liuosjäähdytteisen jäähdytyskoneen toiminta ja apulaitteet	23
3.5.1	Nestelauhduttimet	25
3.5.2	Vapaajäähdytys	26
3.6	Vapaajäähdytys maaputkistolla	30
3.7	Kaukokylmä	30
4	Jäähdytysverkostot ja eri jäähdytyslaitteet	32
4.1	Ilmakiertoiset jäähdytysjärjestelmät	32
4.1.1	Vakioilmavirta CAV-järjestelmät	33
4.1.2	Ilmavirtasäätöiset VAV-järjestelmät	34
4.2	Vesikiertoiset jäähdytysjärjestelmät	35
4.2.1	Tuloilmakoneiden jäähdytyspatterit	35
4.2.2	Jäähdytyspalkit	37
4.2.3	Jäähdytyspaneelit eli passiiviset jäähdytyspalkit	38
4.2.4	Puhallinkonvektorit	39
5	Rakennusautomaation ja jäähdytysjärjestelmien liittäminen	41
5.1	Siemens Desigo Insight-rakennusautomaatiojärjestelmä	42

5.2	Siemens-rakennusautomaatio järjestelmän laitteet ja osat	42
5.2.1	Valvomo	42
5.2.2	Alakeskukset	43
5.2.3	Huone- ja kenttälaitteet	43
5.3	Kylmälaitoksen ja jäähdytyslaitteiden liitännät	43
6	Desigo Xworks Plus-ohjelmointi	45
6.1	Paine- ja lämpötilasäädöt	46
6.2	Käynnistys- ja hallintalohkot	48
6.3	Jäähdytysluvut ja -ehdot	49
6.4	Vedenjäähdytyskoneiden liitännät	52
6.5	Vedenjäähdytyskoneiden vuorottelu	53
6.6	Lauhduttimet	54
6.7	Vapaajäähdytyksen liitännät	56
6.8	Kaukokylmän liitännät	57
6.9	Jäähdytysverkostojen liitännät	57
7	Päätelmä	58
	Lähteet	60
	Liitteet	
	Liite 1. Vedenjäähdytyskoneen säätökaaviot	
	Liite 2. Järjestelmän hierarkia	
	Liite 3 Järjestelmän I/O-pisteluettelo	

Kaavojen merkinnät

φ	Ilman suhteellinen kosteus (%)
p_{osa}	Vesihöyryn osapaine (Pa)
p_{kyl}	Vesihöyryn kyllästymispaine (Pa)
T	Ilman kuivalämpötila (°C)
x	Ilman vesisisältö eli absoluuttinen kosteus (kg/kg)
h	Entalpia eli lämpösisältö (kJ/kg)
Δ_i	Jäähdytystehojen muutoksien suuruus (°C)
Q_{kok}	Vuotuinen jäähdytysverkostojen jäähdytysenergia (kWh/a)
β_{ilma}	Ilmanvaihtokoneiden ilmalaitteiden häviökerroin
Q_{ilma}	Ilmanvaihtokoneiden jäähdytyspattereiden vuotuinen jäähdytysenergia (kWh/a)
β_{vesi}	Huonelaitteiden ja vesijäähdytyslaitteiden häviökerroin
Q_{vesi}	Huonelaitteiden käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia (kWh/a)
$W_{sähköntarve}$	Vuotuinen sähköenergiantarve (kWh/a)
Q_{kok}	Vuotuinen jäähdytysenergia (kWh/a)
ϵ_E	Jäähdytysenergian tuotannon kylmäkerroin
$W_{yhdistettytarve}$	Vuotuinen yhdistetty sähköenergiantarve (kWh/a)
Q_{kok}	Vuotuinen jäähdytysenergia (kWh/a)
ϵ_{E1}	Jäähdytysenergian tuottoprosessin 1 kylmäkerroin
ϵ_{E2}	Jäähdytysenergian tuottoprosessin 2 kylmäkerroin
α_1	Tuottoprosessin 1 vuosittainen osuus kokonaistuotosta
α_2	Tuottoprosessin 2 vuosittainen osuus kokonaistuotosta
$W_{apulaitteet}$	Vuotuinen apulaitteiden käyttämä sähköenergia (kWh/a)
Q_{kok}	Vuotuinen jäähdytysenergia (kWh/a)
β_{apu}	Apulaitteiden sähkönkulutuksen kulutuskerroin

Lyhenteet

SHR	<i>Sensible Heat Ratio</i> eli tuntuvan jäähdytystehon osuus kokonaisjäähdytystehosta.
EER	<i>Energy Efficient Ratio</i> eli kylmäkoneesta saadun jäähdytystehon suhde käytettyyn sähkötehoon.
COP	<i>Coefficient Of Performance</i> eli lämmitys- ja jäähdytyskäytön hyötysuhdekerroin.
SEER	<i>Seasonal Energy Efficiency Ratio</i> eli vuositasolla tarkasteltuna jäähdytyskoneiden jäähdytystehon suhde käytettyyn sähkötehoon.
R410A	Kylmäainetyyppi, joka on yleisesti käytössä kierukka- ja ruuvikompresso-reissa.
R407C	Kylmäainetyyppi, joka on yleisesti käytössä kierukka-, mäntä- ja ruuvi-kompressoreissa.
R134A	Kylmäainetyyppi, joka on yleisesti käytössä ruuvi- ja turbokompressoreis-sa.
CAV	<i>Constant Air Volume</i> eli vakioilmavirtasäädöllä toimivista järjestelmistä käytetty nimi.
VAV	<i>Variable Air Volume</i> eli vaihtuvasta tai muuttuvasta ilmavirtasäädöllä toi-mivista järjestelmistä käytetty nimi.
S2	Sisäilmastoluokitukset S1–S3, jotka ovat yleisesti käytössä rakennuksis-sa. Nimellä viitataan sisäilmalle asetettuihin rajoihin, jotka sisäilmaston pi-tää täyttää.
LVI	<i>Lämpö, Vesi ja Ilma</i> . Lyhenne käytössä kiinteistötekniikassa, kun puhu-taan lämpö-, vesi tai ilmajärjestelmistä. Tarkoittaa samaa kuin englanniksi HVAC.
HVAC	<i>Heating, Ventilation and Air Conditioning</i> . Lyhenteeseen viitataan yleensä englannin kielisissä teksteissä. Suomessa käytössä samaa tarkoittava LVI.

PX	Rakennusautomaatioalakeskuksien prosessori tyyppi. Usein viitataan myös alakeskustasoon PX-tasona. PXC64- tai PXC128-prosessoreille on uudemmat korvaavat alakeskukset PXC100 ja PXC200.
IP	<i>Internet Protocol</i> . Yleisesti käytössä oleva verkkoliikenneprotokolla.
LON	<i>Local Operation Network</i> . Kenttäväyläkommunikointiprotokolla paikallisille laitteille.
BACNET	Laajasti käytössä oleva avoin verkkokommunikointiprotokolla, vakiintunut ja yleistynyt nopeasti.
I/O	<i>Input/Output</i> on yleisesti käytössä oleva merkintä, kun puhutaan logiikoihin liitettävistä sisään- ja ulostulolähdöistä.
DMAP	<i>Desigo Modular Application Programming</i> . Graafinen ohjelmointikieli Siemensin rakennusautomaatioalakeskuksien ohjelmointiin.
CFC	<i>Continuous Function Chart</i> . Siemensin logiikoille Xworks Plus-ohjelmiston työkalu, jolla ohjelmoidaan rakennusautomaation DMAP-ohjelmia.
PID	<i>Proportional Integral Derivative</i> . Yleisesti käytössä oleva vakiosäädin, jolla voidaan muuttaa säädön vahvistusta, integrointi- ja derivointiaikaa.

1 Johdanto

1.1 Taustaa

Tämä opinnäytetyö on tehty Metropolian Ammattikorkeakoulun automaatiotekniikan koulutusohjelmassa aikuiskoulutuspuolen iltaopiskeluna. Suuntautumisvaihtoehtona koulun aikana on valittu prosessi- ja rakennusautomaation kannalta mielenkiintoisia kursseja, jotka palvelisivat hyvin nykyisissä töissä rakennusautomaation parissa. Opinnäytetyöllä on tarkoituksena antaa valmiudet tuleville työtehtäville, opettaa johdonmukaiseen työskentelyyn ja pohjustaa järjestelmällisyyteen, mikä käytännön työssä helpottaa hallitsemaan laajempia kokonaisuuksia.

Opinnäytetyötä lähdettiin tekemään mielenkiinnosta aihetta kohtaan, yrityksessä ilmenneen tarpeen vuoksi ja halusta ymmärtää paremmin alati kasvavaa jäähdytystekniikkaa. Rakennuksen jäähdytystarve kasvaa koko aika maailmalla ja Suomessa. Suomessa on käytössä lukuisia eri automaatiojärjestelmiä ja näistä nykyinen työnantaja Siemens on yksi suurimmista. Rakennusautomaation saralla kehitys on melko nopeaa. Uusia ratkaisuja ja käyttösovelluksia tulee koko aika markkinoille. Tällä hetkellä eletään murrosaikaa, kun digitalisaatio lisää saatavilla olevaa tiedon määrää, jolle kehitetään koko aika sovelluksia, joissa sitä voidaan hyödyntää. Kiinteistöjen kasvavat energiamääräykset kannustavat ja suuntaavat etsimään aina tehokkaampia ratkaisuja myös jäähdytyksen kannalta.

Työn aihepiiri ja -alue on laaja. Alati kasvavassa jäähdytystekniikassa on paljon asioita, jotka vaativat syvempää ja pitkäaikaista jäähdytykseen perehtymistä. Näiden perusteet käydään tässä työssä läpi. Työssä keskitytään teoriapuolella eri jäähdytysratkaisuihin ja yleisimpiin käytössä oleviin sovelluksiin. Aihepiirinä jäähdytys luo kiinteistölle monia eri mahdollisuuksia toteuttaa kuhunkin tilanteeseen ja kohteeseen soveltuvan ratkaisun.

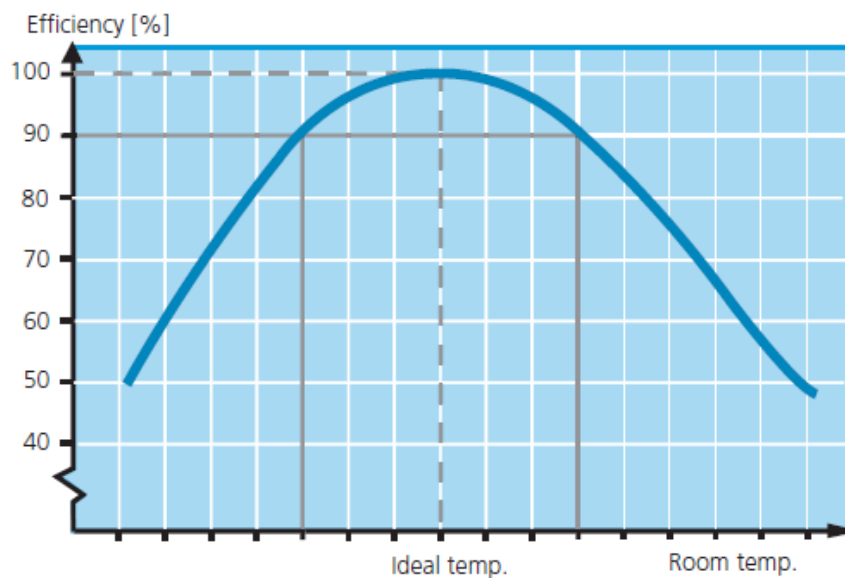
1.2 Tavoite

Työssä keskitytään tarkemmin jäähdytyksen tuotantoon rakennuksissa. Opinnäytetyön pohjustuksena käydään läpi jäähdytyksen kannalta kaikki tärkeät tekijät ja olosuhteet, jotka vaikuttavat rakennuksen jäähdytyksen suunnitteluun ja oikeaoppiseen toteuttamiseen. Työn pohjustuksen, jäähdytysteorian ja käytössä olevien ratkaisuiden läpikäynnin jälkeen luodaan Siemens Desigo Insight-rakennusautomaatiojärjestelmän ohjelmistolla jäähdytyssovelluksille helposti käyttöönotettavat rakennusautomaation jäähdytyssovellukset eri jäähdytysjärjestelmille ja kokoonpanoille. Ohjelmistoa tehdään ja työstetään siltä kantilta, että sillä on helppo ottaa erilaisia kiinteistön kylmälaitoksia käyttöön valitsemalla siihen kuuluvat osakokonaisuudet ja komponentit. Ohjelma luo valituilla komponenteilla valmiin jäähdytyskonesovelluksen, jonka avulla liitetään laitteet automatiikkaan. Työn ohjelmointipohjana toimii Siemens Xworks Plus-ohjelmointityökalun ohjelmointisovellukset ja niillä ohjataan Desigo Insight-rakennusautomaatiojärjestelmän alakeskuksia valvomo-ohjelmistosta käsin.

2 Teoriaa jäähdytyksestä ja siihen vaikuttavista ilmiöistä

2.1 Rakennuksen sisäilmasto

Rakennuksen sisäilmaston hallinta on nykypäivänä tärkeää jokaisessa liike- ja toimitaliinteistössä. Ihmiset kokevat sisäilman eri tavoin, ja siihen vaikuttavat monet eri asiat. Näistä sisäilman lämpötilalla on suurin vaikutus sisäilmaston mukavuuteen. Mitä kauemmas poiketaan ihannelämpötilasta, sitä tyytymättömämmäksi ihmiset kokevat ilmaston. Sisäilmaston vaikutusta ihmisen suorituskykyyn on tutkittu useassa eri tutkimuksessa. Niissä on todettu työskentelyn tehokkuuden laskevan nopeasti, jos poiketaan ihannelämpötilasta. Alla olevassa kuvassa 1. on kuvattu lämpötilan vaikutus ihmisen työskentelytehokkuuteen [1, s.7–10].



Kuva 1. Lämpötilan vaikutus työskentelyn tehokkuuteen [2, s.14].

Normaalissa toimistorakennuksessa sisäilmastoon vaikuttavaa lämpökuormaa tuottaa moni asia. Ihmisen tuottama lämpökuorma siihen on noin 100 W. Valaistuksen osuus siitä on noin 120 W ja jos tähän lasketaan vielä mukaan tietokoneen ja auringon yhteiskuormitus, on se kokonaisuudessaan luokkaa 650 W per huone. Viihtyisien sisälämpötilojen saavuttamiseksi rakennuksiin on niiden lämpökuormista tehtävä jo suunnitteluvaiheessa tarkat laskelmat, joilla päästään oikeaan lopputulokseen. Rakennuksen lämpökuormista on seuraavassa luvussa kerrottu tarkemmin [3, s.29–36].

Puhuttaessa sisäilmastosta puhutaan myös *sisäilman laadusta*. Tähän vaikuttaa kaikki ihmisen terveyteen ja viihtyvyyteen vaikuttavat fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset tekijät. Kun huomioon otetaan myös ihmisen viihtyvyyteen vaikuttavat seikat, puhutaankin monesti jo sisäympäristöstä. *Sisäympäristöön* vaikuttavat myös valaistustekniset ja akustiset ominaisuudet [1, s.56–60].

2.2 Sisäilmaston vaatimukset

Sisäilmastolle on Suomessa määräyksiä ja säädöksiä. Näitä on esitetty useassa eri rakentamismääräyskokoelmassa. Jäähdytyksen kannalta tärkeimmät määräykset tulevat lämpötilan ja kosteuden määräyksistä.

Rakentamismääräyskokoelmassa D3 määritetään eri rakennuksien kesäaikaiset sisälämpötilojen jäähdytysrajat. Kaikille rakennuksille, lukuun ottamatta asuinrakennuksia on jäähdytysraja sisäilman lämpötilalle +25 °C. Tästä sallitaan enintään 150 astetunnin poikkeama vuodessa aikavälillä 1.6. – 31.8. Tällä tarkoitetaan sitä, että tuona aikana saa lämpötila poiketa enintään 150 astetuntia. Esimerkiksi loppukesän helteisenä päivänä, kun sisäilma nousee +26 °C:n kohdalle, tulee tästä 1 astetuntipoikkeama joka tunti, jonka lämpötila on koholla. Lämpötilavaihteluiden vaikutukset tulee huomioida jo rakennuksen suunnitteluvaiheessa kohteisiin, joissa käytetään koneellista jäähdytystä [4, s.419–430].

Sisälämpötilan lisäksi sisäilman kosteus vaikuttaa tilan käyttäjään. Kosteuden optimaalinen alue on 40...60 % normaalissa toimitilassa. Suhteellisen kosteuden ollessa yli 60 % jatkuvasti tekee se ilmasta painostavan ja voi pitkäaikaisena aiheuttaa rakennukseen fysikaalisia riskejä. Vastaavasti matala suhteellinen kosteus eli alle 30 % kuivattaa ihmisen limakalvoja ja altistaa hengitystieinfektioille. Monesti tiloilla voi olla myös kosteudelle erityisvaatimuksia, jotka vaativat erillistä ja tarkkaa kosteuden hallintaa.

Yksi tärkeä jo suunnitteluvaiheessa huomioon otettava lämpöviihtyvyyteen vaikuttava tekijä on ilman liikkuminen tiloissa. Jos ilmastointia ja sisäilmaa ei ole toteutettu kunnolla, saattaa ihminen kokea vedon tunnetta tilassa. Ihmisen iho viilenee ilmavirrassa huomattavasti nopeammin, kun ohjataan jäähdytettyä tuloilmaa huoneisiin. Tällöin täytyy ilman sekoittuminen varmistaa, ettei tilojen viihtyvyys kärsi turhaan [1, s.97–106].

Rakentamismääräyskokoelman lisäksi sisäilman lämpötilalle annetaan suosituksia sisäilmastoluokituksessa. Operatiiviselle lämpötilalle on annettu eri luokkia, joiden mukaan sisäilmasto voidaan toteuttaa. Alla on kuvattu sisäilman luokitukset ja niiden sallimat lämpötila poikkeamat eri rakennuksille (taulukko 1).

Taulukko 1. Sisäiset lämpökuormat ja henkilötiheyden arvot [5, s.5].

	S1	S2	S3
Operatiivinen lämpötila t_{op} [°C]			
$t_u \leq 10$ °C	21,5*	21,5	21
$10 < t_u \leq 20$ °C	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)^*$	$21,5 + 0,3 \times (t_u - 10)$	$21 + 0,4 \times (t_u - 10)$
$t_u > 20$ °C	24,5*	24,5	25
Sallittu poikkeama tavoitearvosta [°C]	$\pm 0,5$	$\pm 1,0$	$\pm 1,0$
Operatiivisen lämpötilan enimmäisarvo [°C]	$t_{op} + 1,5$	$t_u \leq 10$ °C: $t_{op} + 1,5$ $10 < t_u \leq 20$ °C: $23 + 0,4 \times (t_u - 10)$ $t_u > 20$ °C: 27	$t_u \leq 15$ °C: 25 $t_u > 15$ °C: $t_{umax} + 5$
Operatiivisen lämpötilan vähimmäisarvo [°C]	20	20	18
Olosuhteiden pysyvyys [% käyttäjästä]			
• toimi- ja opetustilat	95 %	90 %	–
• asunnot	90 %	80 %	–

* S1-luokassa operatiivisen lämpötilan on oltava tila/huoneistokohtaisesti aseteltavissa välillä $t_{op} \pm 1,5$ °C. Jos samassa huoneessa on useita henkilöitä, käytetään lämpötilan tavoitetasona taulukossa esitettyjä tavoitearvoja.

Taulukosta 1. voidaan tulkita, että kesällä sallitaan hieman korkeammat lämpötilat ja poikkeamat kuin talvella. Asunnoissa sallitaan myös hieman enemmän vuosittaista astetuntivaihtelua kuin toimi- ja opetustiloissa. *Operatiivisella lämpötilalla* tarkoitetaan huonepintojen ja huoneilman lämpötilan keskiarvoa.

2.3 Rakennuksen jäähdytystarve

2.3.1 Tuntuva lämpökuorma ja kosteuskuorma

Tuntuva lämpökuorma rakennuksessa on se kuorma, joka lämmittää tilassa olevaa ilmaa, mutta ei nosta absoluuttista kosteutta. *Kosteuskuormalla* tarkoitetaan vastaavasti sitä kuormaa, joka kasvattaa rakennuksen absoluuttista kosteutta. Kosteus nostaa ilman energiasisältöä eli entalpiaa, vaikka ilman lämpötila pysyisi vakiona. Kosteus siis toisin sanoen sitoo energiaa itseensä. Kosteuskuormaa kutsutaan toiselta nimeltään latentiksi tai sidotuksi lämpökuormaksi. Laskettaessa tilan kokonaislämpökuormaa lasketaan yhteen kaikki ulkoiset ja sisäiset kuormat [4, s.421].

Sisäisillä lämpökuormilla tarkoitetaan tyypillisesti vain tuntuvia lämpökuormia. Näitä ovat sähkölaitteiden, valaistuksien ja tilassa olevien ihmisten luovuttamat lämpökuormat. Tästä poikkeuksena ihmisen luovuttama lämpökuorma 100..120 W, mistä noin 40 W on latenttia eli kosteuskuormaa [4, s.430].

Ulkoisilla lämpökuormilla tarkoitetaan auringon säteilykuormaa, rakenteista johtuvaa lämpösäteilyä, tuloilman lämpökuormaa sekä vuotoilman kuormaa. Auringon säteily on ulkoisista lämpökuormista suurin. Nykyaikaisissa toimistotaloissa, jotka sisältävät paljon ikkunoita, on auringolla suuri laskennallinen vaikutus jäähdytystarpeen mitoittamiseen. Ulkoisia lämpökuormia pyritään minimoimaan passiivisilla ratkaisulla, kuten sälekaihtimilla, varjostimilla ja ilmansuuntien huomioimisella jo rakennusvaiheessa. Alla olevassa taulukossa 2. on listattuna eri sisäisten lämpökuormien arvoja [4, s.431–439].

Taulukko 2. Henkilötiheyden ja sisäistenlämpökuormien laskennallisia arvoja [5, s.12].

Rakennus/tila	Kellonaika	Käyttöaika		Henkilötiheys	Käyttöaste	Valaistus	Laitteet	Ihmiset ^{1), 4)}
		h/vrk	vrk/vko	m ² /hlö		W/m ²	W/m ²	W/m ²
Asuinitilat (pientalo)	00:00–24:00	24	7	37	0,6	8 ²⁾	2,4 ³⁾	2
Asuinitilat (kerrostalo)	00:00–24:00	24	7	25	0,6	8 ²⁾	3 ³⁾	3
Toimistotilat	07:00–18:00	11	5	12	0,55	12	15	6
Neuvottelutilat	08:00–17:00	9	5	3	0,6	12	18..60	25
Luokahuoneet	08:00–16:00	8	5	2	0,5	18	12	35
ATK-luokat	08:00–16:00	8	5	2	0,6	18	75	35
Päiväkotitilat	07:00–18:00	12	5	2	0,4	18	12	35
Liiketilat	07:00–21:00	14	7	17	0,55	15...70	8	5
Majoitustilat (hotelli)	00:00–24:00	24	7	19	0,5	14	7	4
Ravintolatilat	10:00–22:00	10	7	3	0,4	20	20	26
Urheiluhallit	07:00–23:00	14	7	21	0,6	20	24	5
Terveystiloitilat	00:00–24:00	24	7	8	0,8	9	3	10

¹⁾ Ei sisällä latenttia lämpöä, kokonaislämmönluovutus saadaan jakamalla kertoimella 0,6.

²⁾ Asuinrakennusten valaistuksen käyttöaste on 0,1.

³⁾ Asuinrakennusten laitteiden sähkönkäyttö lasketaan jakamalla lämmönluovutus kertoimella 0,7.

⁴⁾ Simulointiohjelmissa käytetään henkilön lämmönluovutuksena 125 W (1,2 met, kehon pinta-ala 1,8 m²). Kouluissa ja päiväkodeissa käytetään lasten lämmönluovutuksena 110 W (1,0 met, kehon pinta-ala 1,8 m²).

Kuten yllä olevista muuttujista voidaan todeta, vaikuttaa rakennuksen lämpökuormiin moni asia. Näistä on suunnitteluvaiheessa tärkeää tehdä tarkkoja laskelmia, joiden pohjalta voidaan alkaa laskea jäähdytystehon tarvetta.

2.3.2 Jäähdytystarpeen arviointi ja laskeminen

Jäähdytystarvetta rakennuksessa kuvastaa se ylimääräinen lämpötila, joka on johdettava pois talosta, että saavutetaan aiemmin esiteltujen suositusten ja määräysten mukainen rakennuksen suurin sallittu lämpötila, lukuun ottamatta hetkellistä poikkeusta. Jäähdytystarpeen arvioinnissa pitää huomioida lämpöenergian varastoituminen rakenteisiin. Eri rakenteissa tämä vaikuttaa eri tavalla, koska varastoitumiseen vaikuttaa rakennuksen materiaalien lämpökapasiteetit ja massat. Voidaan todeta aiemmin esiteltujen sisäisten lämpökuormien vaikutuksista, jotka siirtyvät ympäristöön konvektiivisesti tai säteilemällä, että konvektiiviset lämpökuormat siirtyvät aina huoneilmaan lämmöksi, mutta säteilevät lämpökuormat siirtyvät myös rakenteisiin, mistä ne luovuttavat lämpöä viiveellä konvektiivisesti takaisin sisäilmaan. Paljon lämpökapasiteettia sisältävissä rakennuksissa voidaan sitä hyödyntää tuulettamalla tiloja yötuuletuksella. Tällöin rakenteisiin varautunut viileä hidastaa huoneilman lämpenemistä seuraavana päivänä [4, s.442–446].

Jäähdytystehon arviointi tehdäänkin nykyään lähes aina dynaamisilla energiasimulaattoreilla. Suomessa käytetyimpiä ovat IDA ICE ja RIUSKA. Näillä saavutetaan riittävän kattavat arviot jäähdytystarpeesta ja säästetään aikaa verrattuna yksityiskohtaisiin laskelmiin.

Jäähdytystarpeen laskennassa tärkeimpiä käsitteitä ovat *jäähdytysteho*, *lämpökuorma* ja *jäähdytyskuorma*. Jäähdytysteholla tarkoitetaan jäähdytyslaitteiden hetkellistä tehoa, jolla ne jäähdyttävät huonetilaa tai kiinteistöä. Jäähdytystehoa joudutaan siis nostamaan, jos tahdotaan viilentää huonetilaa. Jäähdytyskuorma on se teho, joka vaaditaan, että huoneen sisäilman lämpötila pysyy halutussa asetusarvossa. Lämpökuorma on sisäisten ja ulkoisten lämpökuormien yhteissumma.

Rakennuksen tarvitseman jäähdytystehon laskentaa varten on syytä erottaa tuntuvan jäähdytystehon tarve ja märkjäähdytyksen tarve. Märkjäähdytyksellä, toiselta nimeltään latentti jäähdytystarve kuvataan sitä entalpiaeroa, joka pitää kuivattaa ilmanvaihdon koneen jäähdytyspatterissa. Tästä lisää luvussa 2.2.3, jossa perehdytään kosteuteen ja sen aiheuttamiin ilmiöihin ilmastoinnissa. Kaavoihin liittyvät merkinnät on nähtävissä selityksineen tämän työn alussa [1, s.81].

2.3.3 Kosteuden vaikutus ja laskeminen

Ilmankosteutta kuvataan kahdella eri tavalla, absoluuttisella ja suhteellisella kosteudella. Absoluuttinen kosteus kuvastaa ilman sisältämää vesihöyryn määrää yhtä kuivaa ilmakiloa kohden. Yleisemmin käytössä ja käytännössä merkityksellisempi suure on suhteellinen kosteus φ , joka saadaan laskemalla kaavasta

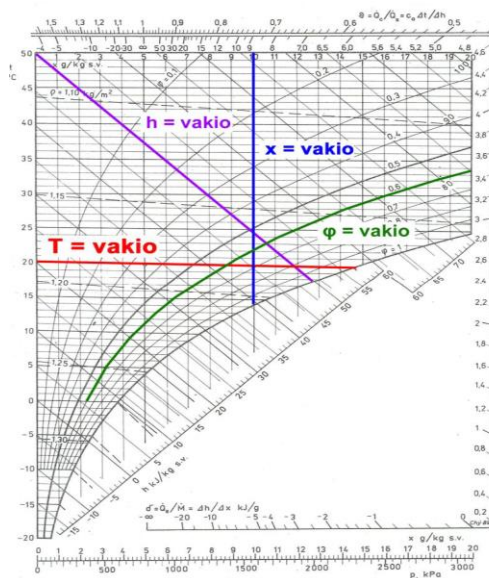
$$\varphi = \frac{p_{osa}}{p_{kyl}} \quad (1)$$

missä,

p_{osa} Vesihöyryn osapaine (Pa).

p_{kyl} Vesihöyryn kyllästymispaine (Pa).

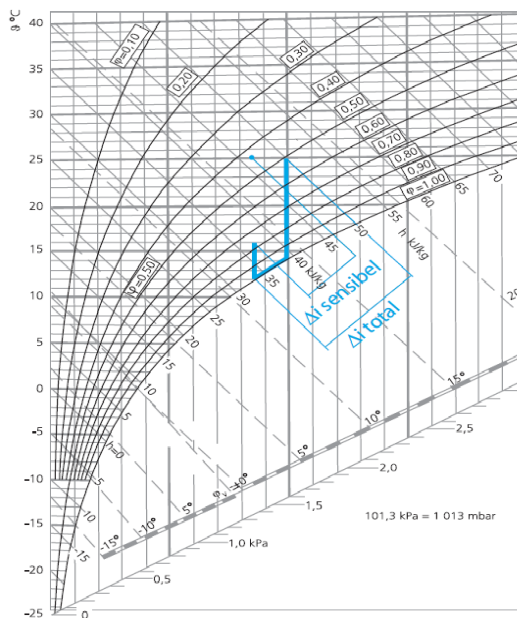
Vesihöyryn kyllästymispaine riippuu ilman lämpötilasta. Vesihöyryn osapaine ja absoluuttinen kosteus ovat suoraan verrannollisia toisiinsa. Kylmässä ilmassa absoluuttinen kosteus ja kyllästymispaine ovat matalammat kuin lämpimällä ilmalla. Tästä on ilmastointiteknikassa tavanomaisesti käytössä Mollier-diagrammi, josta on helppo ja nopea lukea ilmankosteuden eri suureet. Alla olevassa kuvassa 2. on kuvattu tyypilliset mollier-diagrammin vakiot [1, s.83].



Kuva 2. Mollier-diagrammissa esitetty kostean ilman log h,x piirros [15].

T (°C) kuvastaa ilman kuivalämpötilaa ja on taulukossa vasemmassa laidassa. ϕ on ilman suhteellisen kosteuden prosentti. Näitä kuvaavat vasemmalta oikealle kaarevat viivat 0,1–1,0, missä 0,1 on 10-prosenttinen suhteellinen kosteus ja 1,0 on 100-prosenttinen suhteellinen kosteus. x on ilman vesisisältö eli absoluuttinen kosteus (kg/kg). Diagrammissa h on entalpia eli lämpösisältö (kJ/kg), ja se on piirretty ilman kastepisteen eli 100-prosenttisen suhteellisen kosteuden käyrän viereen laskien vasemmalta oikealle [1, s.85].

Otetaan aiemmin kuvattu jäähdytyksen kokonaistehon tarve ja tuntuva jäähdytystehon tarve tilanteessa, jossa sisänpuhalluslämpötila on ennen jäähdytyspatteria +25 °C ja jäähdytyspatterin jälkeen +16 °C alla olevan kuvan 3. mukaisesti.



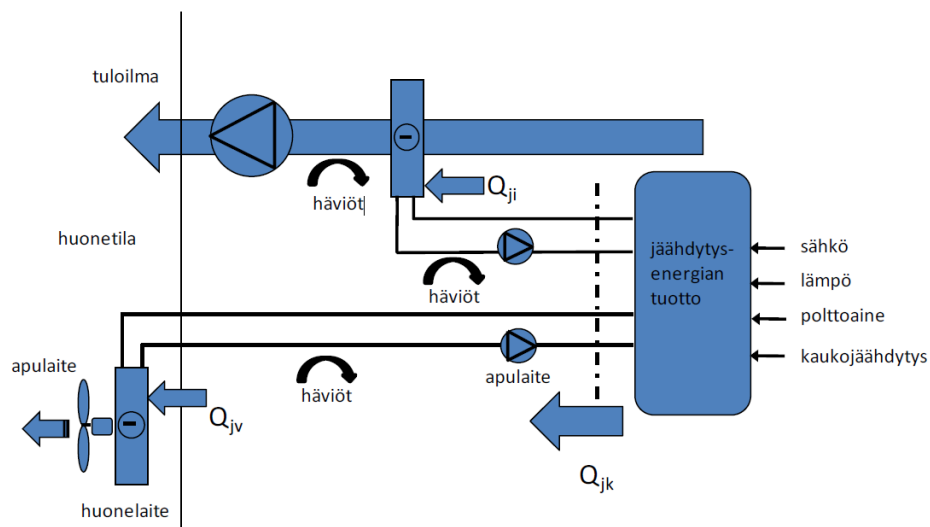
Kuva 3. Latentin jäähdytystehon ja tuntuva jäähdytystehon yhteenlaskettu summa [2, s.21].

Kuvasta voidaan päätellä, että Δi konaisjäähdytysteho muodostuu Δi tuntuva jäähdytystehon ja märkäkuorman eli latentin kosteuden vaatiman jäähdytystehon yhteisvaikutuksesta. Monesti tilanteissa on tärkeää tarkastella märkätehon eli latentin tehon ja tuntuva jäähdytystehon yhteisvaikutusta ja suhdetta toisiinsa. Tuntuva jäähdytystehon suhteesta kokonaisjäähdytystehoon käytetään nimitystä SHR (Sensible Heat Ratio). Samaa SHR-määritelmää käytetään myös kuvaamaan tuntuva lämpökuorman suhteesta kokonaislämpökuorman.

Mitä korkeampi on ilman suhteellinen kosteus, sitä tärkeämpää on kosteuden poistaminen koneellisesti. Eritoten loppukesästä ja alkusyksystä ilma saattaa olla hyvinkin kosteaa. Mitä suurempi ilman kostepitoisuus on, sitä suurempi on myös kastelämpötila, jossa vesihöyry tiivistyy ilmaa kylmemmille pinnoille pisaroiksi tai kalvoksi. Mollier-käyrästä voidaan todeta tyypillinen loppukesän ilmiö ilmankosteudelle, jossa ilman lämpötila on $+25\text{ °C}$ ja suhteellinen kosteus 50 %. Mollier-käyrää seuraamalla voidaan todeta, että kostea ilma alkaa tiivistyä pisaroiksi noin $+14\text{ °C}$:n lämpötilalle pinnoille. Syksyllä ja poikkeuksellisen kosteina ja kuumina sateisinä päivinä saattaa kastepistelämpötila nousta $+15\text{...}+17\text{ °C}$:n tienoille.

2.4 Jäähdytysenergian laskenta

Jäähdytysenergian laskennassa huomioidaan koko jäähdytysjärjestelmän kuluttama energia. Rakentamismääräyskokoelmassa D5 [3] on määritelty jäähdytysjärjestelmän energialaskennan säädöksiä ja ohjeita. Laskennasta on olemassa yksinkertainen ja yksityiskohtainen ohjeistus. Tässä työssä käydään läpi yksinkertaista laskentamennettelmää, josta tulee valtaosa jäähdytysjärjestelmän termeistä ja laskentaan vaikuttavista muuttujista tutuksi. Yksinkertaisella laskentakaavalla saadaan suuntaa antavat vuosiarviot, ja ne perustuvat taulukoista saatuihin arvoihin. Yksityiskohtaisessa ohjeessa käytetään laitekohtaisia arvoja ja rakennuksen nettotarpeita, jotka saadaan simulointiohjelmilla. Allaolevassa kuvassa 4. on havainnollistettu tyypilliset jäähdytysenergian laskentaan vaikuttavat laitteet.



Kuva 4. Jäähdytysjärjestelmän periaatekaavio [7, s.5].

Jäähdytysjärjestelmän energiankulutus koostuu jäähdytyksen tuoton, luovutuksen ja apulaitteiden yhteiskulutuksesta. Jäähdytyksen tuotto on melko yleisesti kompressorilaitos ja vapaajäähdytys vaihdin ja näiden tarvitsemat apulaitteet. Jäähdytyksen luovuttavat laitteet ovat verkostot ja jäähdytyspatterit apulaitteineen, joiden tehtävä on jäähdyttää kiinteistöä. Vuotuiset jäähdytysenergian luovuttamisen kulutukset saadaan laskemalla kaikkien jäähdytysverkostojen ja järjestelmien vuosittaiset jäähdytysenergiat yhteen huomioiden häviökertoimet, jotka kuvastavat termisiähäviöitä ja kondenssihäviöitä. Jäähdytysjärjestelmän luovuttavien laitteiden vuotuinen energia on

$$Q_{kok} = (1 + \beta_{ilma})Q_{ilma} + (1 + \beta_{vesi})Q_{vesi} \quad (2)$$

missä,

Q_{kok}	Vuotuinen jäähdytysverkostojen jäähdytysenergia (kWh/a).
β_{ilma}	IV-koneiden ilmalaitteiden häviökerroin.
Q_{ilma}	IV-koneiden jäähdytyspattereiden vuotuinen jäähdytysenergia (kWh/a).
β_{vesi}	Huonelaitteiden ja vesijäähdytyslaitteiden häviökerroin.
Q_{vesi}	Huonelaitteiden käyttämä vuotuinen jäähdytysenergia (kWh/a).

Yllä olevaan kaavaan liittyvät häviökertoimet eri lämpötiloille on kuvattu alla olevassa taulukossa 3.

Taulukko 3. Jäähdytysveden lämpötilan vaikutukset eri häviökertoimille [7, s.7].

Menovedenlämpötila	$\beta_{ilma\ 1}$	$\beta_{ilma\ 2}$	β_{vesi}
7 °C	0,3	0,6	0,2
10 °C	0,2	0,5	0,15
15 °C	0,1	0,2	0,1
18 °C	0	0	0,0

Kertoimet $\beta_{ilma\ 1}$ eivät sisällä kondenssihäviötä, ja kertoimet $\beta_{ilma\ 2}$ sisältävät kondenssihäviöt.

Hetkellinen kylmäkerroin ei eroa vuosittaisesta kylmäkertoimesta muuten kuin tarkastellun ajanjakson kannalta. Hetkellisellä kylmäkertoimella EER (Energy Efficient Ratio) tarkastellaan tarvetta tietyssä ajanjaksona. Tämä onkin tärkeää, jos olosuhteissa on paljon muutoksia ympäri vuoden.

Lämpöpumppusovelluksissa on samasta asiasta toinen nimitys COP (Coefficient Of Performance), joka kuvastaa samaa tilannetta, mutta tällä kertaa myös lämmitys- ja jäähdytyskäyttöön soveltuvalla hyötysuhdekertoimella.

Kuitenkin jäähdytyslaitoksen kulutusta on viisasta tarkastella pidemmällä aikavälillä, ja vuositasolla puhuttaessa jäähdytyskoneiden tehoista on vakiintunut eri jäähdytyskoneiden kylmäkertoimien vertailuille lyhenne SEER (Seasonal Energy Efficiency Ratio) [7, s.10–11]. Jäähdytysenergian tuottamiseen tarvittava vuosittainen sähköenergian tarve saadaan kaavalla

$$W_{\text{sähköntarve}} = \frac{Q_{\text{kok}}}{\varepsilon_E} \quad (3)$$

missä,

$W_{\text{sähköntarve}}$	Vuotuinen sähköenergiantarve (kWh/a).
Q_{kok}	Vuotuinen jäähdytysenergia (kWh/a).
ε_E	Jäähdytysenergian tuotannon kylmäkerroin.

Jäähdytyksen tuoton vuotuinen kylmäkerroin määräytyy siis siitä suhteesta, minkä kylmälaitos tarvitsee energiaa jäähdytyksen tuottamiseen. Tuottoprosessiin sisältyy kaikki jäähdytyksen tuotantoon tarvittavat apulaitteet, kuten lauhdutinpuhaltimet, verkoston pumput ja näiden aiheuttamat häviöt. Yksityiskohtaisessa menetelmässä käytettäisiin laitevalmistajan antamia kylmäkertoimia ja huomioitaisiin simulaatiossa saatuja arvoja verkostojen ja lauhduttimien kulutuksille, mutta tällä kertaa huomioidaan taulukon 4. mukaiset suuntaa antavat arvot.

Taulukko 4. Jäähdytysenergian tuoton vuotuisia kylmäkertoimia [7, s.6].

<i>Jäähdytysenergian tuottotapa</i>	<i>kylmäkerroin tuotetulle kylmälle</i>	<i>sähköllä</i>	<i>kylmäkerroin tuotetulle kylmälle</i>	<i>lämmöllä</i>
kompressori-kylmälaitos ilmalauhdutteinen	2,5		-	
kompressori-kylmälaitos vesilauhdutteinen	3		-	
vapaajäähdytys, liuosjäähdytin (kuiva)	5		-	
vapaajäähdytys, jäähdytystorni (märkä)	7		-	
vapaajäähdytys, maaputkisto	30		-	
split-laitteet	3		-	
kaukojäähdytys (lämmönsiirrin)	-		1	

Taulukosta voidaan todeta, että eri jäähdytysratkaisujen kylmäkertoimissa on suuria eroja. Mielenkiintoiseksi tekee suurissa laitoksissa vapaajäähdytyksen hyödyntäminen. Niissä on lähestulkoon aina vähintään puolet parempi kylmäkerroin, kuin kompressorilla tuotetussa kylmässä. Vapaajäähdytys kun ei vaadi kalliin kompressorin käyntiä, vaan hyödyntää pohjoisessa ilmastossa kylmää ulkoilmaa. Tämän kaltaisen laitoksen ja myös muiden laitoksien, joissa tuotetaan kylmää kahdella tai useammalla eri prosessilla, energiankulutus saadaan laskemalla eri jäähdytyksille suhteelliset osuudet vuosittaisesta tuotosta kaavalla

$$W_{\text{yhdistettytarve}} = \alpha_1 \frac{Q_{\text{kok}}}{\varepsilon_{E1}} + \alpha_2 \frac{Q_{\text{kok}}}{\varepsilon_{E2}} \quad (4)$$

missä,

$W_{\text{jäähdytystarve}}$	Vuotuinen yhdistetty sähköenergian tarve (kWh/a).
Q_{kok}	Vuotuinen jäähdytysenergia (kWh/a).
ε_{E1}	Jäähdytysenergian tuottoprosessin 1 kylmäkerroin.
ε_{E2}	Jäähdytysenergian tuottoprosessin 2 kylmäkerroin.
α_1	Tuottoprosessin 1 vuosittainen osuus.
α_2	Tuottoprosessin 2 vuosittainen osuus.

Tämän kaiken lisäksi tulee huomioida, että järjestelmä käyttää sähköä pumppujen, puhaltimien ja muiden apulaitteiden toimintaan. Nämä luovuttavat tai jakelevat jäähdytysenergiaa. Tämänkaltaisia laitteita ovat kaikki jäähdytysverkostojen laitteet ja jäähdytystä luovuttavat laitteet, kuten konvektorit, jäähdytyspalkit, ilmastointikoneiden jäähdytyspattereiden pumpput ja ilmamääräsäätimet apulaitteineen. Ilmastointikoneiden puhaltimia ei huomioida tässä, koska niiden toiminta olisi välttämätöntä ilman jäähdytystäkin. Jäähdytysjärjestelmien apulaitteiden kulutus huomioidaan vuositasolla kaavalla

$$W_{apulaitteet} = \beta_{apu} Q_{kok} \quad (5)$$

missä,

$W_{apulaitteet}$	Vuotuinen apulaitteiden käyttämä sähköenergia (kWh/a).
Q_{kok}	Vuotuinen jäähdytysenergia (kWh/a).
β_{apu}	Apulaitteiden sähkönkulutuksen kulutuskertoimen.

Ohjearvojen sijaan voidaan käyttää yksityiskohtaisempaa laskentakaavaa, mutta tämän ollessa suuntaa antava laskentaohje energiakulutusten ymmärtämiseen ja muodostamiseen, niin käytetään tällä kertaa taulukon 5. mukaisia arvoja.

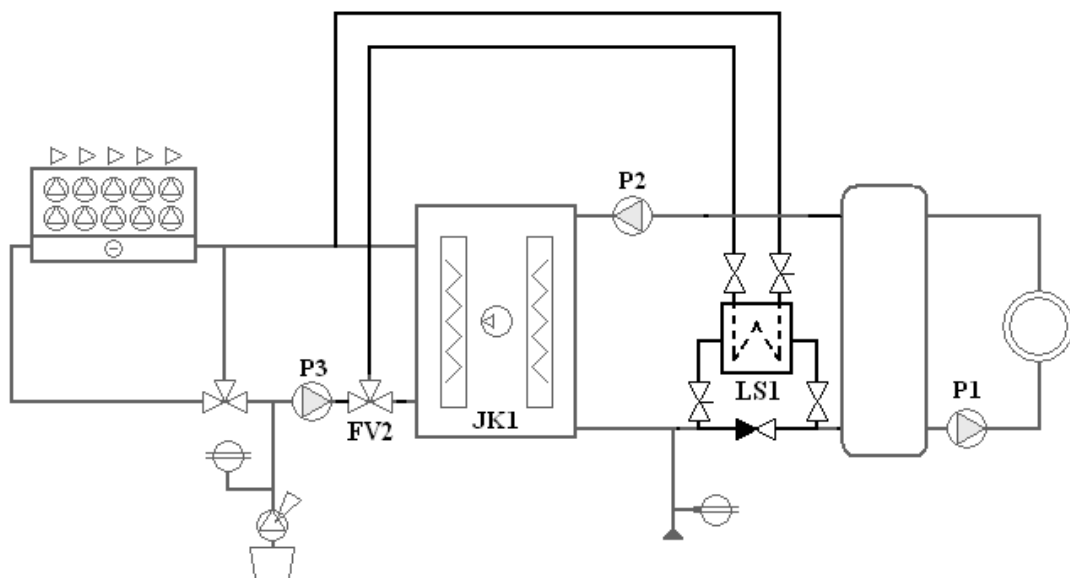
Taulukko 5. Jäähdytysverkostojen kulutuskertoimet [7, s.7].

Jäähdytysjärjestelmä	β_{apu}
Vesijärjestelmä, Jäähdytyspalkki	0,06
Vesijärjestelmä, Puhallinkonvektori	0,08
Ilmajärjestelmä, IMS-säätö	0,05

Jäähdytysverkostojen apulaitteiden kulutuskertoimet ovat suuntaa antavia ja soveltuvat hyvin kuvaamaan sitä määrää, minkä jokainen eri verkosto käyttää energiaa vuositasolla toimimiseen. Tarkempia laskelmia voitaisiin tehdä, jos olisi tarvetta, mutta nykyään rakennuksen simulaatio- ja laskentaohjelmat kattavat hyvin pitkälle kaiken tarvittavan, minkä takia niihin ei tässä sen enempää paneuduta. Kompressorikylmälaitoksissa on kylmäntuotto toteutettu kompressorin avulla. Nämä ovatkin nykyisistä kylmälaitoksista suosituimpia. Itse kompressorilaitoksen kylmäkertoimeen vaikuttaa kompressorin höyrystymis- ja lauhtelämpötilat, kompressorin tyyppi, sekä kylmää siirtävä kylmäaine. Valmistajilla on melkein aina saatavilla tiedot suositelluista kylmäaineista ja kylmälaitoksen kylmäkertoimista. Näitä käyttämällä saadaan laskettua ja simuloitua huomattavasti tarkemmat tulokset yllä mainitulla periaatteella.

3 Kylmälaitoksen osat ja komponentit

Kylmälaitoksen lopulliset rakennukseen hankittavat osat ja komponentit määräytyvät aina simuloidun jäähdytystarpeen, kohteen erityistarpeiden ja suunnittelijan antamien jäähdytystarvearvojen mukaan. Pienemmissä kohteissa ja yksittäisissä jäähdytystarpeissa voidaan käyttää valmiiksi koottuja yksiköitä, jotka on helppo ja nopea ottaa käyttöön kohteessa. Nämä sisältävät yleensä kaikki säätö- ja ohjauslaitteet valmiina, minkä johdosta tämänkaltaiset valmiit jäähdytysratkaisut vain liitetään jäähdyttäviin laitteisiin. Alla esitellyssä kuvassa 5. on kylmälaitoksen periaatekaavio.



Kuva 5. Välillisen jäähdytysjärjestelmän periaatekaavio.

Suuremmissa kohteissa ja isommille jäähdytystarpeille rakennetaan kylmälaitos ja verkostot kohteen käyttötarpeen mukaan komponenteista. Tällainen kylmälaitos jättää suunnittelijalle vapaammat kädet järjestelmän toteuttamiseen. Kohteeseen suunnitellulla laitoksella saadaan kohteeseen tarkemmin räätälöity ja kohteen erityistarpeisiin sopivampi kylmälaitos. Nykypäivänä pyritään hyödyntämään rakennuksen automatiikkaa apulaitteiden toimintaan ja kylmälaitoksen oma logiikka hoitaa kylmäainepiirin toiminnan. Kylmäainepiirejä voi olla vedenjäähdytyskoneessa yksi tai useampia. Myös kylmäainepiirin kompressoreita voi olla jäähdytyskoneessa ja jokaisessa kylmäainepiirissä useampia. Kompressorit kylmälaitoksen lisäksi varustetaan nykyään kylmälaitokset lä-

hestulkoon aina myös vapaajäähdetyksellä. Vapaajäähdetystä voidaan hyödyntää pohjoisissa ilmastoissa vuositason riippuen kohteesta, jopa 70 % ajasta. Tällainen yhdistelmäkäytäntö alkaakin olla melkein kaikissa nykyaikaisissa vesiliuoskylmäasemissa käytössä, ja se voidaan toteuttaa monella eri tavalla.

3.1 Suorajäähdytys ja välillinenjäähdytys

Suoralla kylmälaitoksella tai paremmalta nimeltään *suorajäähdyksellä* kuvataan laitteita, joissa kylmäainepiirin höyrystin höyrystää suoraan ilmavirtaan sijoitettua jäähdytyspatteria. Näin ollen saadaan erittäin tehokkaasti hyödynnettyä kylmäaineen höyrystyslämpötilalla tuotettu kylmä 5...8 °C, kun vastaava arvo välillisellä jäähdetyksellä on 2...3 °C johtuen siitä, että välillisessä järjestelmässä syntyy jokaisessa välittäjäaineen siirrossa häviötä. Aiemmin luvussa 2.3 käytyjen eri jäähdytyskoneiden kylmäkertoimien ja niillä saavutettavien jäähdystestehojen suhteesta kulutettuun sähkötehoon voidaan todeta tällaisen suorajäähdysteisen koneen olevan sähköteholtaan vastaavaa välillistä järjestelmää pienempi. Kohteissa, joissa suurien vesi- tai liuos-verkostojen käyttö ei ole järkevää, suositetaan suorajäähdetystä. Tästä ovat poikkeuksena laitokset, joissa tahdotaan hyödyntää lähestulkoon ilmaista vapaajäähdetystä. Vapaajäähdetyksen hyödyntämiseen tarvitaan käytännössä aina välillinen järjestelmä [9, s.51].

Suorajäähdetyksen etuina voidaan pitää siis parempaa hyötysuhdetta, kun ei tule häviöitä eri väliaineiden välillä. Muita suoranjäähdetyksen etuja on nesteputkien vähäinen määrä, koska kylmäainepiirin toiminta on suoraan lähellä luovuttavaa järjestelmää ja näitä lyhyitä putkistoja ei myöskään tarvitse eristää, koska siirtomatkat ovat lyhyitä. Suorajäähdetyksen haittoja ja huonoja puolia ovat kylmäaineen vuotoriskit hajautetuissa kylmäasemissa ja vapaajäähdetyksen hankala toteuttaminen. Myös käytettävyys isommissa kohteissa muuttuu hankalaksi, koska ei voida hallinnoida ja varastoida tuotettua kylmää riittävästi ja näin ollen ennakoimaan kuormitushuippuja. Suorajäähdytys sopiikin pienempiin kohteisiin ja sellaisiin kohteisiin, missä vesiputkien asentaminen ei ole suotavaa. Myös yksittäiset pienempien tilojen jäähdytystarpeet jälkikäteen lisättynä ja saneerattuna on monesti viisaampi toteuttaa suoralla jäähdetyksellä.

Välillinen jäähdytys on parempi ratkaisu suuremmissa laitoksissa. Sen etuihin voidaan laskea keskitetty laiteratkaisu, joka on helposti muunneltavissa useisiin kohteisiin ja liitettävissä kohteen eri jäähdytysverkostoihin. Välillisellä järjestelmällä saadaan myös

tarkempi lämpötilan säätö kuin suorajäähdetyksessä, ja välillisessä järjestelmässä on myös huomattavasti pienempi riski kylmäainetäytöissä ja -vuodoissa.

Välillinen järjestelmä tarkoittaa sitä, että käytetään väliainetta tuotetun kylmän siirtämiseen. Väliaineena voi olla vesi tai liuos. Lauhdepuolella liuoksella tarkoitetaan lähestulkoon aina vesiglykoliseosta, ja tällöin ulkoasenteisten lauhduttimien kanssa saadaan hyödynnettyä lauhduttimia myös talvella vapaajäähdytysvaihtimien kanssa. Toinen välillisen järjestelmän hyvä etu on käytettäessä jäähdytysverkostossa varaajasäiliöitä. Varaajilla saadaan varastoitua jäähdytyskoneen tuottamaa kylmää, jolla pystytään taasaamaan lämpökuorman lyhytaikaisia huippuja tehokkaasti.

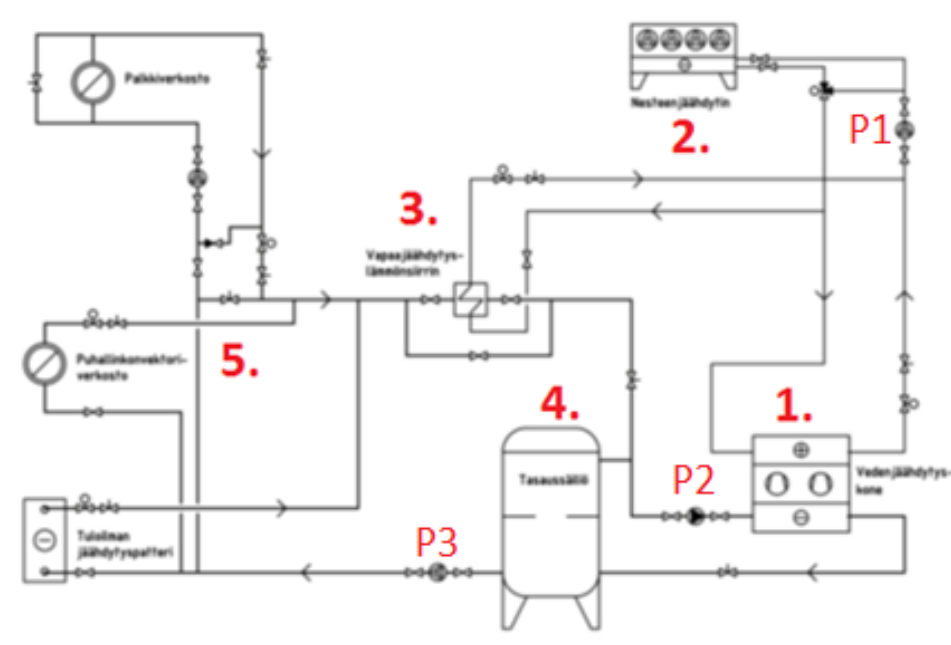
Myös kylmälaitoksen ja kohteeseen hajautettujen jäähdyttävien laitteiden sijainnilla on suuri merkitys. Välillisen järjestelmän voi sijoittaa keskitetysti jäähdytyskohteista toisaalle ja kuljettaa jäähdytysputkissa jäähdytetyn nesteen eri jäähdytyskohteisiin.

Välillisen järjestelmä huonoina puolina tai haittoina voidaan pitää sen suurempaa energiankulutusta, koska sen höyrystymislämpötilat ovat alhaisempia. Energiakulutuksen ero suorajäähdetykseen on noin 15...20 % kylmäaineen höyrystymisissä. Jos lauhdutuskin on välillinen, niin kuin nykyaikaisissa jäähdytyslaitoksissa, missä hyödynnetään vapaajäähdetykselle samoja lauhduttimia hankintahinnan kustannuksien takia, tällöin energiankulutus kasvaa toiset 15...20 %. Tästä johtuen voidaan välillisen jäähdytysjärjestelmän kylmäntuoton energiakustannuksia pitää noin 30...40 % kalliimpina kuin suorajäähdetyksen, jos ajatellaan pelkästään kompressorilla tuotetun kylmän osuutta. Tätä ei kuitenkaan voi pitää realistisena ja järkevänä ostopäätöksen ja hankinnan perusteena, koska välillisellä järjestelmällä saavutetaan huomattavasti muita energian säästöön ja kylmän jakeluun vaikuttavia hyötyjä. Esimerkiksi edellä mainittu vapaajäähdytys, jota voidaan hyödyntää Suomessa riippuen kohteesta ja kohteen vaatimista jäähdytysjärjestelmistä, jopa 35...70 % vuodesta [9, s.51].

3.2 Kylmälaitoksen toiminta

Kiinteistön kylmälaitos voidaan jakaa eri osa-alueisiin. Koska suorajäähdytteiset järjestelmät ovat lähestulkoon identtisiä, lukuun ottamatta apulaitteita ja monesti vielä itseänsä, jolloin ne eivät vaadi kiinteistön rakennusautomaatiolta apulaitteiden ohjauksia, ovat ne työn kannalta vähemmän tärkeitä. Tämän takia perehdytään kylmälaitoksien

osalta ja ohjelmointiosuudessa välillisen järjestelmän toimintaan. Alla olevan kuvan 6. mukaiset laitteet löytyvät lähestulkoon kaikista kylmälaitoksista. Seuraavassa on kuvattu hieman tarkemmin näiden laitteiden toimintaa.



Kuva 6. Tyypillinen keskitetty kiinteistön kylmälaitos

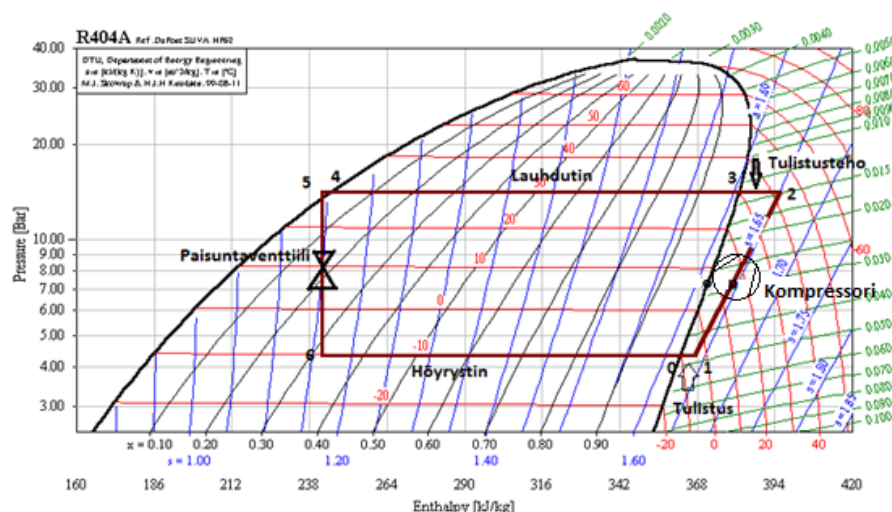
Oheisen kuvan 6. mukaiset laitteet ovat tyypillisesti käytössä vähänkin isommissa koh-teissa, missä tarvitaan koneellista jäähdytystä. Kuvassa on oikealla laidalla kompresso- rilla toimiva vedenjäähdytyskone (1), sen yläpuolella kylmäainepiirin ylimääräisen läm- mön lauhduttamiseen tarvittava nestejäähdytin (2). Keskellä ylhäällä on vapaajäähdy- tysvaihdin (3), ja sille hyödynnetään useasti samaa nestelauhdutinta kuin vedenjäähdy- tuskoneelle vuorotteluperiaatteella. Lauhdepiirillä on omat pumppunsa (P1), ja sitä hyödynnetään molemmissa tapauksissa. Lisäksi vapaajäähdytysvaihtimella ja veden- jäähdytyskoneella tuotetulle kylmälle on keskellä alhaalla tasaussäiliö (4), mihin tuotet- tua kylmää varataan kuormitushuippujen tasaamista varten. Varaajassa on sisällä yleensä pystyyn asennettu levy, joka katkaisee läpivirtauksen piireistä ja sekoittaa va- raajan vettä. Vedenjäähdytyskoneen tuottamalle kylmälle on omat pumppunsa (P2), jotka kierrättävät vedenjäähdytyskoneelle lämmitysverkostoista palaavaa lämmennyt- tä nestettä ja siirtävät vedenjäähdytyskoneelta jäähtyneen nesteen takaisin varaajasäili- öön. Jäähdytysverkostoille menevälle vedelle on omat pumppunsa, jotka kierrättävät varaajasäiliöstä kylmää nestettä eri jäähdytysverkostoille (P3). Kuvan oikeassa laidas-

sa ovat eri jäähdytysverkostot (5), jotka kuvastavat kohteessa kylmää luovuttavia laitteita. Näistä käytetään yleisesti nimitystä jäähdytyslaitteet.

3.3 Kylmäainepiirin toiminta ja komponentit

Kylmäainepiirillä tarkoitetaan vedenjäähdytyskoneen sisäistä höyrystys- ja lauhdutuspiiriä, jolla tuotetaan kylmää. Tämä piiri voidaan jakaa neljään eri päävaiheeseen ja niissä vaikuttaviin komponentteihin ja prosesseihin. Jäähdytyskoneen kylmäaineprosessissa jäähdytysaine siis höyrystyy ja lauhtuu. Tämä aikaansaa prosessin, josta voidaan ottaa talteen kylmää ja siirtää eteenpäin aiemman kuvan välillisen järjestelmän tapauksessa väliaineella (vesi) tasaussäiliöön. Jäähdytyskoneen prosessin arvot vaihtelevat hieman eri kylmäaineilla, mutta periaate on sama kaikilla käytössä olevilla kylmäaineilla [9, s.10–15].

Kompressor on yksi jäähdytyskoneen tärkeimmistä komponenteista. Kompessoreita onkin käytössä hyvin paljon erityyppisiä ja kuhunkin käyttötarkoitukseen soveltuvia, mutta prosessin tarkemman tutkimuksen kannalta keskitytään tässä vaiheessa vielä vain kompressorin toimintaan. Alla on kuvattuna kylmäainepiirin prosessi välivaiheittain selostettuna. Kylmäaineelle ominaisten tulistus- ja lauhtumislämpötila- ja painearvojen perusteella voidaan siitä piirtää kuvan 7. mukainen paine-entalpia-tilapiirros, lyhyesti log p, h-tilapiirros.



Kuva 7. Jäähdytyskoneen prosessin log p,h-tilapiirros. [8]

Kompressor (tilakuvan välillä 1-2) luo kierron kylmäainepiirissä. Sen tehtävä on imeä matalapaineista, tulistettua kylmäainehöyryä, ja puristaa sitä korkeampaan paineeseen ja lämpötilaan. Kompressorin puristus tuottaa paine-eroa höyrystimen ja lauhduttimen välille ja näin saa aikaan kierron [9, s.12].

Tulistunut höyry (tilakuvan välillä 2-3) lauhdutetaan jäähdytyskoneessa joko erillisessä lämmönsiirtimessä tai lauhduttimessa. [9, s.12]

Lauhdutin (3-4) hoitaa prosessissa höyrystyneen kylmäaineen jäähdytyksen ja luovuttaa ympäristöön lämpöä. Tämä lämpö on lauhdutusprosessin takia usein ajettava ke- säkuumalla katolle nestelauhduttimille, minkä avulla saadaan pidettyä prosessin lämpötilat sallituissa raja arvoissa. Kylmäaineen lauhtuessa muuttuu höyry takaisin nestemäiseen muotoon [9, s.12].

Paisuntaventtiili tai -laite (tilakuvan välillä 5-6) laskee lauhdutetun nestemäisen kylmä- aineen painetta. Paineen laskiessa ja nestettä kuristamalla myös lämpötila laskee. Näiden yhteisvaikutuksesta muuttuu kylmäaine taas nestehöyryseokseksi. Paisuntalait- teen tärkein tehtävä on säädellä kylmäaineen syöttöä eli virtausta höyrystimelle. Pai- suntalaite onkin vesiasemassa korkea- ja matalapaineen erottavana laitteena. Paisun- taventtiili tai laite vesiasemissa on yleensä elektroninen. Sen säätö perustuu imuputken paineanturin ja höyrystymislämpötilan mittaukseen ja nämä ovat suoraan verrannollisia toisiinsa. Höyrystymisanturilla mitataan kompressorille menevän höyryn lämpötilaa. Kun tätä verrataan paineesta saatuun laskennalliseen höyrystymislämpötilaan ja imu- kaasun mitattuun lämpötilaan, saadaan oikea tulistuslämpötila säädettyä paisuntavent- tiilillä. Kylmäaineen syöttöä höyrystimelle säädetään siis tulistuksen avulla [9, s.12].

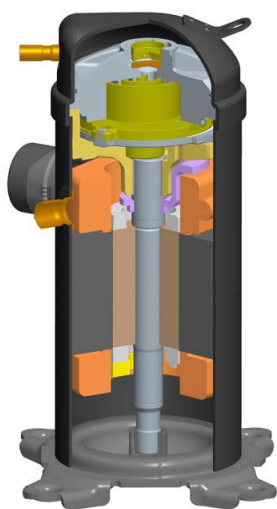
Höyrystin (tilakuvan välillä 6-0) on se osa kylmäaineprosessia, joka sitoo ympäristön lämpöä, eli tässä tapauksessa luovuttaisi kylmää jäähdytysverkostoon ja vastaavasti sitoisi jäähdytysverkoston lämpöä itseensä. Vedenjäähdytyskoneiden höyrystimet ovat yleensä nestekiertoisia levyhöyrystimiä. [9, s.12]

Tulistus (tilakuvan välillä 7-0) kuvastaa sitä kylmäaineen prosessin kohtaa, missä nes- tehöyryseos muuttuu puhtaasti höyryksi. Kompressor voi hajota tai ainakin käyttöikä huomattavasti lyhenisi, jos sinne menisi nestettä. Tästä johtuen onkin tärkeää, että kylmäaine on täysin höyrystynyt ennen kuin kompressor sen imee uudelleen kierto- on [9, s.12].

3.4 Kompressorit

Kompressoreita on monenlaisia ja eri kylmäaineille soveltuvia. On olemassa hermeettisiä ja puolihhermeettisiä kompressoreita. Hermeettiset kompressorit ovat täysin suljettuja kaasutiiviitä, kun taas puolihhermeettiset ovat osittain purettavissa ja soveltuvat hyvin suuremmille jäähdytystarpeille. Hermeettiset kompressorit ovat yleensä käyntiääneltään hiljaisempia kuin puolihhermeettiset, mutta huollon kannalta huomattavasti hankalampia. Seuraavassa on listattu kompressorityypit aina pienimmästä suurempaan.

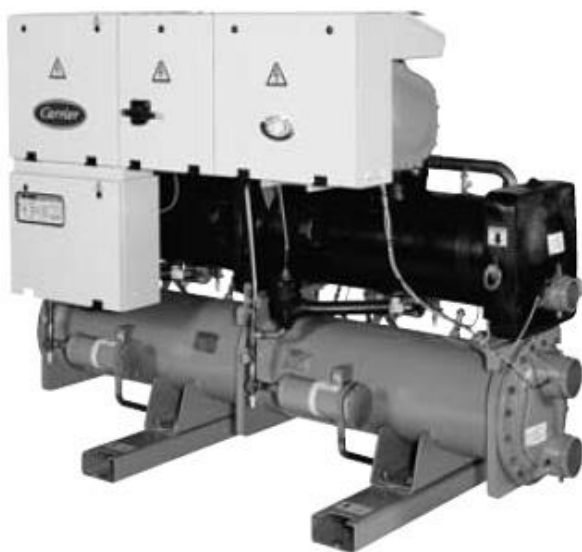
Scroll-kompressor eli *kierukkakompressor* on yleisin käytössä oleva pienemmän kokoluokan kompressor. Kierukkakompressoreita löytyy alle 5 kW hermeettisistä aina 400 kW puolihhermeettisiin kompressoreihin. Kierukkakompressorissa on sisäkkäin kaksi kierukkaa. Toinen kierukoista on kiinteä ja toinen liikkuu epäkeskeisesti aiheuttaen kierukoiden välille kaasukammioita, jotka pienenevät liikkeestä. Kierukkakammioiden supistuva tila aiheuttaa niissä paineen nousun. Vedenjäähdytyskoneessa voi olla useita Scroll-kompressoreita rinnan, joko yhdessä tai useammassa kylmäainepiirissä. Yleensä kahden tai useamman kompressorin pysäyttelyllä ja käynnistelyllä saavutetaan paras joustavuus kylmäainepiirin säädölle. Alla olevassa kuvassa 8. on tyypillinen Scroll-kompressor. Käytetyimpiä kylmäaineita Scroll-kompressoreissa ovat R410A- ja R407C-kylmäaineet [6, s.145].



Kuva 8. Danfoss Scroll-kompressorin toimintaperiaate [10].

Mäntä- ja kiertomäntäkompressorit ovat käytöstä vähenemässä ja poistumassa uudempien ja parempien kompressoreiden tieltä, sillä niiden tekniikka alkaa olla hyötysuhteeltaan muita vaihtoehtoja huonompi. Mäntäkompressoreiden koot vaihtelevat pienistä alle 40 kW hermeettisistä jäähdytyskoneista aina 700 kW puolihhermeettisiin koneisiin. Mäntäkompressoreiden toiminta perustuu männän jaksottaiseen puristukseen, kun kylmäaine puristuu sylinterissä. Käytetyin kylmäaine mäntäkompressoreissa on R407C-kylmäaine. [6, s.128]

Ruuvikompressorit ovat yleisimpiä suurien toimitilalaitoksien kompressoreista. Ruuvikompressoreiden koot vaihtelevat 200...1300 kW koneisiin. Kompressorissa voi olla puristukseen ruuveja yksi tai useampia samassa kylmäainepiirissä. Ruuvikompressorin toiminta perustuu ruuvin pyörimiseen, minkä johdosta kuoren ja ruuvin välissä oleva kaasutila pienenee. Ruuvikompressoria säädetään jäähdytyskoneen luistiventtiilin avulla. Luistiventtiili siirtää puristuksen aloituspistettä tarpeen mukaan, minkä avulla saadaan lyhyempi puristuksen kesto. Alla olevassa kuvassa 9. on tyypillinen ruuvikompressor, joita näkee paljon kiinteistöjen konehuoneissa. Käytetyimmät kylmäaineet ruuvikompressoreissa ovat R134A-, R410A- ja R407C-kylmäaineet. [6, s.148–152]



Kuva 9. Carrier 30HX nestejäähdytteinen ruuvikompressor [11].

Turbokompressorit ovat tehoiltaan suurimpia, ja niitä onkin käytössä vain yli 1 MW tehoisissa kylmälaitoksissa. Turbokompressorissa puristuksen aiheuttaa pyörivä juoksupyörä, joka kasvattaa kaasun liike-energiaa. Kasvanut liike-energia muutetaan paineeksi diffuusorissa, missä aineen virtaus hidastuu. Koneita säädetään juoksupyörän

siipikulmaa muuttamalla ja siipipyörän kierrosnopeutta taajuusmuuttajalla säätämällä. Alla olevassa kuvassa 10. on havainnollistettu turbokompressorin rakennetta. Kylmäaineena turbokompressoreissa käytetään R134A-kylmäainetta [6, s.152].

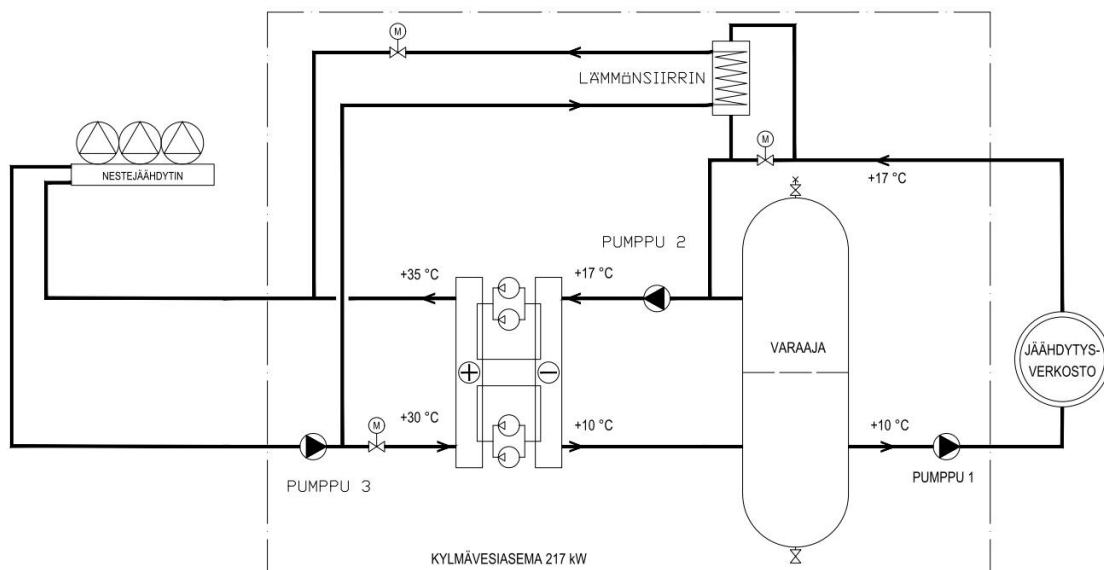


Kuva 10. Carrier vesijäähdytteinen turbokompressor 19XR. [11]

3.5 Vesi- ja liuosjäähdytteisen jäähdytyskoneen toiminta ja apulaitteet

Kylmäainepiirin ja kylmäaseman ympärille on rakennettava itse kylmälaitos. Kylmäasemaan tarvitaan vedenjäähdytyskoneen lisäksi useita apulaitteita ja komponentteja jäähdytysprosessin oikein toimimista varten. Näiden liittämiseen ja hallinnoimiseen keskitytään myös tämän insinöörityön ohjelmointiosuudessa, jossa kaikki jäähdytyskoneen vaatimat laitteet ja apulaitteet ohjelmoidaan helposti käyttöönotettavaan muotoon.

Jäähdytyskoneiden prosessit vaativat tarkkaa lämpötilojen ohjausta prosessin toimimiseen ja siihen, että laitteet pysyisivät ehjinä ja pitkäikäisinä. Jäähdytyskoneiden yhteiskäyttöisille verkostoille vaikuttaa eri käyttötilanteissa eri lämpötilaasetuksia, joita rakennusautomaatiolla säädetään tilanteiden mukaan. Tarkempi yhden vedenjäähdytyskoneen vaatima kokonaisuus ja toiminta on kuvattu loppuosan liitteessä (1). Jäähdytyskoneen prosessin eri vaiheet ja lämpötilasäädöt on kuvattu seuraavaksi ja ne viittaavat alla olevaan kuvaan 11.



Kuva 11. Tyypillinen liuosjäähdytteisen järjestelmän prosessikaavio.

Jäähdytyskoneen lauhdepuolelle (kuvassa 11. vasemmalla) kylmäainepiiriin lauhduttimen luovuttama lämpö ajetaan lauhdeputkistoa pitkin katolle, missä se luovutetaan ulkoilmaan. On erityisen tärkeää vedenjäähdytyskoneen kannalta, että (kuvan 11.) lauhdutuspuolen pumppu 3 on aina päällä koneen ollessa päällä ja että lauhdutusvesi palaa katolta +30 °C:n lämpöisenä vedenjäähdytyskoneen lauhduttimelle, sillä jäähdytyskoneen hyötysuhde laskee, jos poiketaan kylmäaineen optimaalisista lämpötiloista.

Jäähdytyskoneen höyrystinpuolella (kuvassa 11. oikealla) on toinen tärkeä pumppu (2), joka ohjaa vedenjäähdytyskoneen höyrystimen puolta ja pitää höyrystimelle palaavan nesteen noin suositellun +17 °C:n arvossa. Höyrystimeltä palaa varaajalle jäähdytettyä noin +10 °C:n lämpöistä viilennettyä jäähdytysverkoston vettä valmiiksi siirrettäväksi kiinteistön jäähdytyslaitteille.

Vedenjäähdytyskoneisiin on usein liitettyä verkostoja vahtivat niin sanotut virtausvahtit, jotka valvovat yllä mainittujen pumppujen toimintaa ja pysäyttävät kompressorit sekä kylmäainepiiriin toiminnan, jos verkostoissa ei ole virtausta. Lauhdutus- ja jäähdytyspumput varustetaan nykypäivänä lähestulkoon aina taajuusmuuttajilla, jotka pitävät verkoston paineen vakiona painesäätöisellä PI-säätimellä. Suuremmissa kohteissa missä vaaditaan luotettavampaa toimintaa, on tapana vielä kahdentaa verkostojen pumput ja tehdä kaksoispumpuille vuorottelu, joko aika perusteisesti tai pitäen toista varalla. Vanhemmissa laitoksissa saattaa olla käytössä vielä pumppuja, joita ei ole va-

rustettu taajuusmuuttajilla. Näiden verkostojen painetta ei käytännössä voida vaihtaa, vaan verkostot rakennetaan niin, että verkostossa pysyy aina riittävä nesteen kierto päällä.

3.5.1 Nestelauhduttimet

Nstelauhduttimen (kuvassa 11. vasemmalla) tehtävä on kuljettaa järjestelmän tuottama ylimääräinen lämpö pois. Yleisesti nestelauhduttimista ja niiden ulkoyksiköistä puhuttaessa puhutaan käytännössä liuoslauhduttimista, sillä niiden vesi kyllästetään glykolilla. Vesi-glykoliliuoksella saadaan lauhdepiirille pakkaskestävyyttä ja näin ollen voidaan käyttää järjestelmää myös talvella vapaajäähdytysvaihtimen avulla. Vesi-glykoliliuos sisältää yleensä noin 10-prosenttia glykolia ja 90-prosenttia vettä, missä glykoli estää jäätymistä, mutta 10-prosenttinen seos pystyy silti vielä siirtämään lämpöä tehokkaasti pois nestelauhduttimesta. Mitä suurempi glykoliseoksen glykolin osuus, sitä huonompi lämmönjohtavuus seoksella on. Alla olevassa kuvassa 12. on tyypillinen kiinteistön katolla sijaitseva nestelauhdutin. [6, s.188]



Kuva 12. Carrier 09GF-nstelauhdutin [12].

Nstelauhduttimet ovat pääsääntöisesti ulkoyksiköitä, joissa on lamellilämmönsiirtimet ja niitä jäähdyttävät puhaltimet. Puhaltimia voi olla säätötavasta ja nestelauhduttimen koosta riippuen 1...8kpl per lauhdutinyksikkö. Lauhdutin puhaltimien säätö voidaan hoitaa asteittain tai portaittain, tai kaikille keskitetysti taajuusmuuttajilla. Normaalikäytäntö on hoitaa lauhdutinyksikön puhaltimien säätö yhdellä tai kahdella säätöviestillä, jolloin lauhdutinpuhaltimien porrastus jää säätöyksikön varaan. Suuremmat nestelauhduttimet toimivat yleensä kahdessa portaassa, jossa kaksi eri puhallinrivistöä lähtee

käyntiin portaittain säätöviestin suuruudesta riippuen tai vaihtoehtoisesti molemmat rivit omalla säätöviestillä.

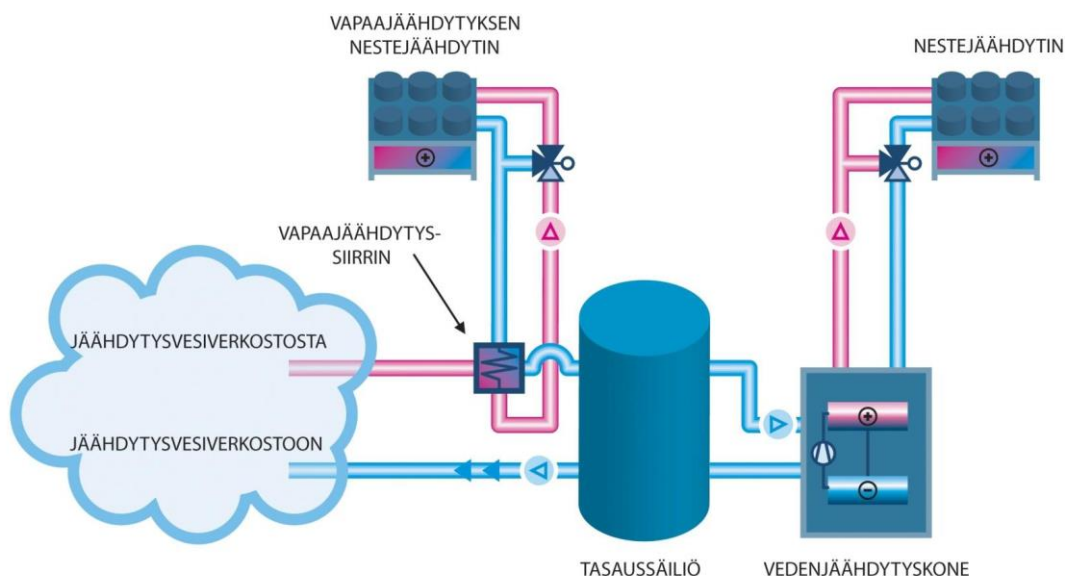
Nestelauhduttimet mitoitetaan vedenjäähdytyskoneen huipputehontarpeen mukaan. Huipputehontarve saadaan ulkolämpötilan ollessa +30 °C. Nestelauhduttimen liuospuolen lämpötilat ovat samat kuin vedenjäähdytyskoneen lauhduttimessa, eli menevälle liukselle +35 °C ja palaavalle +30 °C. Nämä kuitenkin vaihtelevat vedenjäähdytyskoneilla ja käytetyillä kylmäaineilla ja tämän takia on syytä aina tarkistaa jäähdytyskoneen asetuksista. Mitoitustilanteessa, jonka mukaan jäähdytyskoneen koko ja teho mitoitetaan kohteeseen, ovat lämpötilaerot ulkoilmalla ja lauhdepiirillä pienimmillään ja vastaavasti jäähdytyskoneen lauhdetehon tarve suurimmillaan. Tästä johtuen lauhdutinpuhaltimet käyvät valtaosan ajastaan vain osateholla, koska ne on aina mitoitettu huipputehontarpeen mukaan [4, s.315–318].

Jäähdytyskoneen lauhdepuolen lämpötilan säädön kannalta ei välttämättä aina riitä puhaltimien pysäyttäminen jäähdytyskoneen toiminnan ja lauhdelämpötilojen pitämiseen kylmäaineen optimirajoissa. Kylmemmällä ilmalla ja vähäisemmän jäähdytystarpeen ollessa kyseessä on usein tarpeen kierrättää lauhdepuolen verkoston liuos takaisin jäähdytyskoneelle kierrättämättä sitä katon kautta. Tätä varten on lauhdepuolen verkostoon asennettu 3-tieventtiili, jolla varsinkin vähäisen jäähdytystarpeen aikana saadaan kierrätettyä lauhdepiirin liuos suoraan takaisin jäähdytyskoneelle. Nestejäähdyttimelle tarvittava liuksen lämpötila saadaan, kun rakennusautomaation logiikka säätää portaattomasti katolle menevän putkiston ohituksen 3-tieventtiiliä, puhaltimien pyörimisnopeutta ja käyntiä, pitäen vedenjäähdytyskoneelle palaavan lämpötilan halutussa asetuksessa.

3.5.2 Vapaajäähdytys

Vapaajäähdytys on pohjoisissa olosuhteissa ulkoilmasta hyödynnettyä ilmaista kylmää ja eräs parhaimpia ilmaisen jäähdytysenergian lähteitä. Vapaajäähdytyksen vaihdin sijoitetaan varaajasäiliön piiriin, ja ulkoilman ollessa riittävän viileä käytetään sitä jäähdytyskoneen kanssa samaan aikaan silloin, kun vapaajäähdytykselle on omat nestelauhduttimet tai vaihtoehtoisesti vuorotteluperiaatteella silloin, kun molemmat käyttävät yhteistä nestelauhdutinta hyödyntäen vedenjäähdytyskoneen liuoslauhduttimia katolla.

Alla olevan kuvan 13. toteutus on kattavampi ja siinä on molemmille jäähdytysratkaisuille omat nestejäähdyttimet.

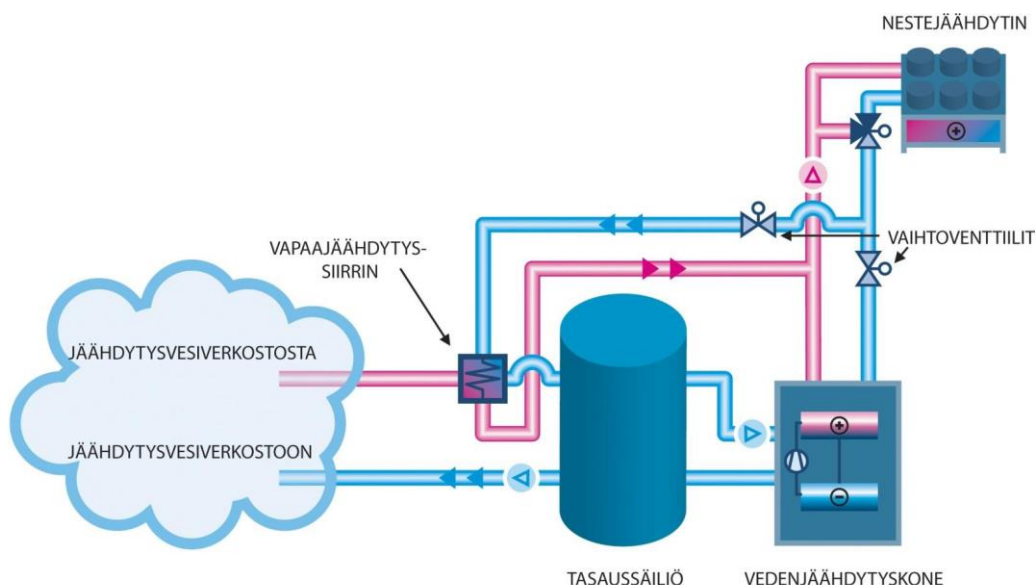


Kuva 13. Vapaajäähdytysvaihdin omalla nestelauhduttimella.

Vapaajäähdytys voidaan toteuttaa omalla nestelauhduttimella tai yhteisellä nestelauhduttimella. Omalla nestelauhduttimella toteutettu vapaajäähdytys on helpompi toteuttaa kuin yhteisellä nestelauhduttimella, mutta hankintahinnaltaan kalliimpi. Omalla nestelauhduttimella varustettu vapaajäähdytys antaa huomattavasti paremmat siirtymäkauden säädöt, koska vapaajäähdytys voidaan ottaa käyttöön heti ulkolämpötilan salliessa ja käyttää päällekkäin vedenjäähdytyskoneen kanssa. Tällaisessa tilanteessa onkin monesti viisaampi liittää vapaajäähdytyksen vaihdin jäähdytysverkostoista palaavaan lämpimään putkistoon, jossa vettä viilennetään ennen kuin se palaa tasaussäiliöön.

Yhteisellä lauhdutyksiköllä varustetussa järjestelmässä vedenjäähdytyskonekäytössä pyritään pitämään lauhdutinpuhaltimilta palaava liuos $+30\text{ °C}$ lämpöisenä. Vastaavasti vapaajäähdytyskäytössä pyritään lauhdutinverkoston lämpötila säätämään mahdollisimman kylmäksi ja hyödyntää ulkoa saatavaa ilmaista jäähdytysenergiaa siirtämällä sitä vapaajäähdytysvaihtimelle noin $+10\text{ °C}$:n asetusarvolla. Yllä mainitun yhteisen nestelauhduttimen tapauksessa käytetään lauhdutusverkostoa siis molemmilla asetusarvoilla ja niiden ohjaukseen tarvitaan verkostossa 2-tieohitusventtiileitä. Venttiileillä ohitetaan eri tapauksissa joko vapaajäähdytysvaihdin tai vedenjäähdytyskone. Yleensä lauhdutusverkoston pumput hoitavat molempien tapauksien nesteen kierrätyksen ja

vain kiertosuunta vaihtuu vedenjäähdytyskoneelle tai vapaajäähdytysvaihtimelle. Kustannussyistä alla olevan kuvan 14. mukainen yhdistelmälaitos on yleisempi.



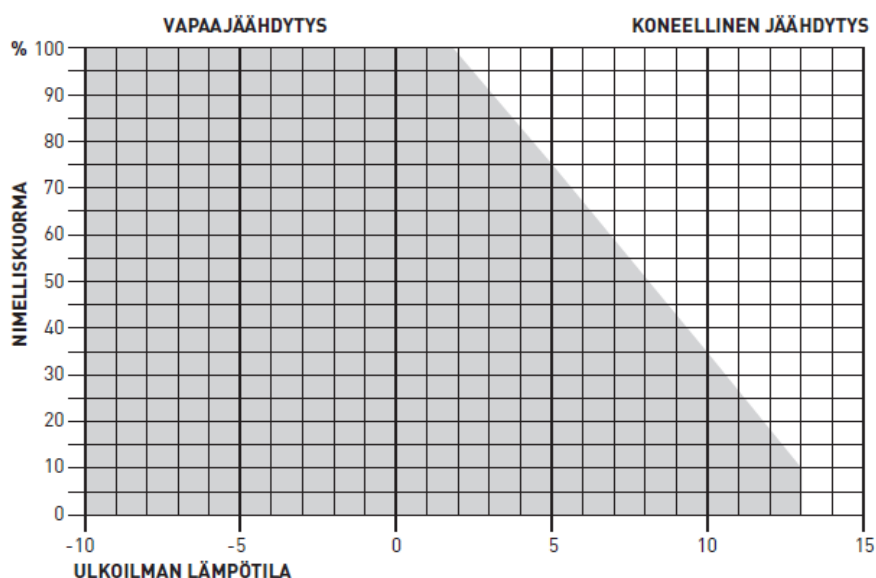
Kuva 14. Vapaajäähdytysvaihdin yhteisellä nestejäähdyttimellä.

Vapaajäähdytyskäytössä tulee myös huomioida verkostojen ja vaihtimien häviöt. Yleisesti ottaen vapaajäähdytystä monesti rajoittavana tekijänä voidaan pitää kiinteistön verkostoihin asetettua ja haluttua jäähdytysverkoston menoveden lämpötilaa. Saadaksesen halutun lämpötilan siirrettyä vaihtimien läpi jäähdytysverkostoon voidaan pitää ulkoilman ja katolla sijaitsevalta nestejäähdyttimeltä vapaajäähdytysvaihtimelle lähtevän lämpötilan erona minimissään 5 °C. Tämä tarkoittaa sitä, että ulkolämpötilan olisi oltava vähintään 5 °C kylmempää kuin vapaajäähdytysvaihtimelle menevän veden. Vastaavasti myös vapaajäähdytysvaihtimelle tulevan nesteen ja vedenjäähdytysverkostossa halutun jäähdytysverkoston menoveden välisen lämpötilaeron on oltava minimissään myös noin 5 °C. Voidaankin todeta, että kiinteistön vaatiman jäähdytysverkoston menoveden lämpötilan ja ulkolämpötilan lämpötilaeron on oltava minimissään noin 10 °C. Tämä johtuu puhtaasti siitä, että jokaisessa vaihtimessa syntyy häviötä, kun välittäjäaineilla siirretään lämpöä toiseen välittäjäaineeseen.

Tähän vaikuttaa myös paljon se, kuinka suureksi on vapaajäähdytysvaihdin mitoitettu. Vaihtimen kokoa kasvattamalla voidaan ulkoa tuotua kylmää hyödyntää tehokkaammin. Yleisesti ottaen vapaajäähdytystä voidaan käyttää jo huomattavasti aiemmin, koska ulkoilman laskiessa noin +10 °C:n kohdalle saadaan ilmastointikoneiden vaatima

kylmä suoraan ulkoilmasta ja jäähdytysverkostoista jää suuret ilmastointikoneiden jäähdytyspatterit pois kuormittamasta jäähdytysverkostoja. Käytännössä huoneistojen palkkiverkostot, tehokkaampaa jäähdytystä ja märkääjäähdytystä vaativat konvektorit ja ympärivuotista muuta jäähdytystä tarvitsevat laitteet kuormittavat enää jäähdytysverkostoa. Palkki- ja huoneverkostojen lämpötilan pyynti on myös huomattavasti korkeampi, mikä edesauttaa vapaajäähdytyksen aikaisempaa käyttöä ulkolämpötilan laskeessa alkutalvesta. Konvektoriverkostot ja märkääjäähdytystä vaativat laitteet ovat monesti se tekijä, joka estää vapaajäähdytyksen aiemman käytön loppusyksystä ja loppukeväästä. Jäähdytysverkostojen optimisäädöt ja asetusarvot ovat hyvin tapauskohtaisia putkistojen häviöiden, eristysten, verkostojen tilavuuksien ja vuorokausi- ja lämpökuormaaikavaihteluiden takia. Kohteen lämpökuormat vaihtelevat myös kohteen käytöstehtävien mukaan.

Yleisesti vapaajäähdytykselle kohteen käyttöönotossa asetetut suuntaa antavat arvot ja säädöt tulee tarkistaa käyttöönoton jälkeen ja asettaa kohdalleen ensimmäisien käyttöönottovuosien aikana. Alla olevassa kuvassa 15. on kuvattu tyypillistä vapaajäähdytyksen ja koneellisen jäähdytyksen suhdetta ulkolämpötilaan.



Kuva 15. Vapaajäähdytyksen ja koneellisen jäähdytyksen suhde eri lämpötiloissa [13, s.3].

Mitä enemmän saadaan vuodessa kylmää tuotettua vapaajäähdytyksellä, sitä enemmän se vaikuttaa koko järjestelmän vuotuisen kylmäkertoimeen parantaen järjestelmän energiatehokkuutta. Vapaajäähdytyksellä tuotetun kylmän sähkönkulutus komp-

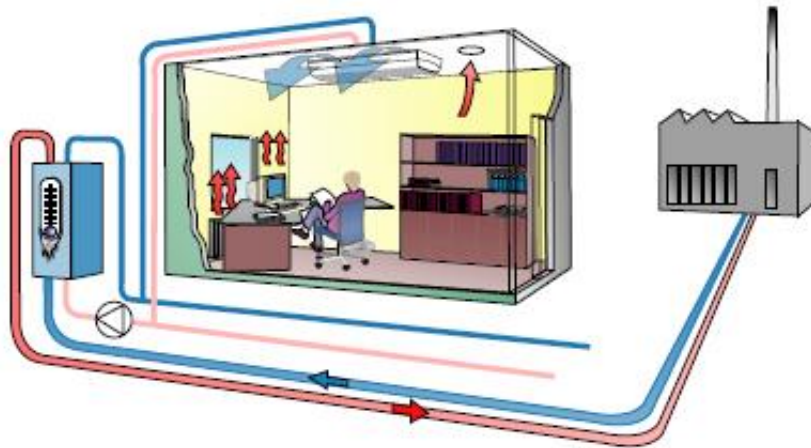
ressoreihin verrattuna on hyvin pieni, koska sähköä kuluttavina osina on vain neste-lauhduttimien puhaltimet ja lauhdeverkoston pumpput.

3.6 Vapaajäähdytys maaputkistolla

Eräs käyttökelpoinen ja yleistyvä tapa on hyödyntää vapaajäähdytysvaihdinta maaputkiston avulla. Maaputkistossa on ympärivuoden suhteellisen alhainen lämpötila. Sitä voidaan hyödyntää varsin tehokkaasti kohteissa, joissa jäähdytykselle ei aseteta erityisen alhaisia arvoja tai kohteissa, joissa käytetään maaputkiston lisäksi kompressorilaitoksia jäähdytettäessä tiloja, jotka vaativat maaputkistolla saatua kylmää alhaisemmat arvot. Putkistoja voidaan porata pystysuuntaan maahan tai vaakatasoisesti maan alle. Maaputkistolla tuotettu jäähdytys onkin useasti yhdistettynä maalämpökeskuksiin, missä samalla putkistolla hoidetaan jäähdytystä ja lämmitystä kausivaihteluiden tarpeen mukaan. Maaputkistossa on vielä parempi kylmäkerroin kuin liuoslauhduttimissa, koska liuoslauhduttimen lämpöä ulkoilmaan siirtäviä puhaltimia ei maaputkistossa tarvita. Maaputkistolla toteutetussa vapaajäähdytyksessä sähköä kuluttaa vain liuosverkoston pumpput. Maaputkistosta kylmää saadaan myös huomattavasti pidemmällä jaksolla vuodessa, koska sitä voidaan käyttää vielä silloin, kun ilmasta otettua vapaajäähdytyksen tarvitsemaa kylmää ei olisi saatavissa. Maaputkistolla on kuitenkin kallis hankintahinta, mikä on rajoittavana tekijänä sen yleistymisessä [7, s.15].

3.7 Kaukokylmä

Kaukokylmä on yleistynyt kaupungeissa, ja varsinkin keskustassa se on suositeltavaa vähäisen melun, helppoutensa ja saatavuutensa takia. Kaukokylmä perustuu keskitetysti energiyhtiöiden tuottamaan kylmään, joka siirretään kohteisiin energiyhtiöiden kaukokylmäverkostoa pitkin. Energiyhtiöt tuottavat kaukokylmää merivedestä saadulla luonnonmukaisella ilmaisella energialla talvella ja kaukolämpöverkon hukkalämmöstä absorptiotekniikan avulla kesäisin, kun kaukolämpöyhtiöiden tuotantokapasiteetit käyvät turhaan ja menisivät muuten hukkaan. Kaukokylmästä noin 80 % on siis muuten hukkaan kuluva energiaa, ja tämän takia kaukokylmä on erittäin ekologinen ja energiatehokas vaihtoehto kylmän tuottamiseen. Normaaliin vedenjäähdytyskoneeseen nähden kaukokylmän energiatehokkuus on noin viisinkertainen. Alla olevassa kuvassa 16. on kuvattu kaukokylmän periaate.



Kuva 16. Kaukokylmän toimintaperiaate [2, s.24].

Kaukojäähdytys kaukokylmällä ei järjestelmän toimintaperiaatteena eroa paljoa vapaajäähdytyksestä. Kaukojäähdytyksen tapauksessa olemassa olevaan kiinteistön jäähdytysjärjestelmään asennetaan lämmönvaihdin, johon kaukolämpöyhtiö tuo kylmää kaukokylmäverkostosta. Kaukokylmä tulee vaihtimen ensiöpuolelle noin $+7...10\text{ °C}$:n lämpöisenä riippuen etäisyyksistä ja kulloisestakin tilanteesta, ja kaukolämmön kaukokylmäverkostoon palaavan paluuveden suositus kiinteistöissä on noin $+16\text{ °C}$. Toisiopuolen eli rakennuksen jäähdytysverkoston puolen suosituslämpötilat ovat verkoston menovedelle $+10\text{ °C}$ ja vaihtimelle palaavalle vedelle $+18\text{ °C}$. Lämpötilaero on molemmissa noin 8 °C . Kaukolämpöä laskutetaan paluuveden lämpötilan ja virtauksen mukaan.

4 Jäähdytysverkostot ja eri jäähdytyslaitteet

Rakennuksien jäähdytyslaitteet kehittyvät koko ajan. Yhä enemmän ja enemmän yhdistetään eri tekniikoita ja saavutetaan aina hiljaisempia, tehokkaampia ja toimintavarmempia jäähdytysratkaisuja. Lähestulkoon kaikille ratkaisuille on oma käyttötarkoituksensa, mutta sähkönkulutuksen kannalta on kuitenkin ulkoilmasta hyödynnettävä jäähdytysteho edelleen kaikkein edullisin.

Ulkoilmalla ilmastointikoneiden avulla jäähdytetyt kiinteistöt ovat kaikkein suosituimpia. Tätä ilmaista kylmää voidaan hyödyntää muutamalla eri tavalla. Jos ulkoilma on riittävän alhainen ja rakennuksessa on jäähdytystarvetta, voidaan ulkona oleva viileä ilma siirtää suoraan rakennukseen tuloilmakoneiden avulla. Toinen erittäin hyvä tapa on hyödyntää kesäaikaan lämpiminä vuodenaikoina vuorokausivaihteluiden aiheuttamia viileämpiä kesäöitä, jäähdyttämällä rakennusta yöaikaan. Tätä kutsutaan yleisesti niin sanotuksi yöjäähdytykseksi. Yöjäähdytys vähentää rakennuksen päivittäistä jäähdytystarvetta, kun yöaikaan rakennuksen sisätilat, ilmamassat ja lämpöä sitovat rakenteet jäähdytetään. Näin ollen seuraavan päivän lämpötilojen nousua rajoitetaan ja ennakoidaan. Tällä tavoin voidaan siis vähentää rakennuksen koneellisen jäähdytyksen energiantarvetta.

Muita rakennuksen jäähdytykseen käytettäviä ratkaisuja on kuvattu seuraavissa luvuissa. Aiemmin käytyjen ilmaisten jäähdytyslähteiden lisäksi rakennus vaatii monesti myös jäähdytykselle ja ilmastoinnille paremmin hallittavia ja ympärivuotisia ratkaisuja, joita tämän työn aihepiirissä käydyt kylmälaitokset vaativat ympärilleen siirtääkseen tuotetun kylmän kohteiden eri tiloihin.

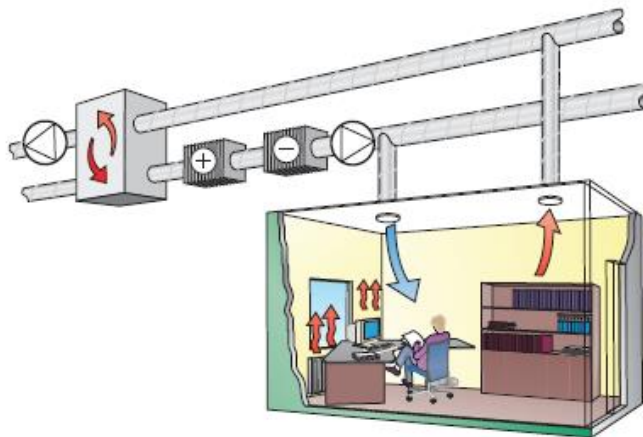
4.1 Ilmakiertoiset jäähdytysjärjestelmät

Ilmakiertoisilla jäähdytysjärjestelmillä tarkoitetaan laitteistoja, joissa pyritään ilmalla ja sitä säätämällä vaikuttamaan haluttuun sisäilmaston laatuun. Ilmakiertoisien järjestelmien tärkeimpiä komponentteja ovat puhaltimet. Puhaltimien tehtävä on siirtää ilmaa rakennukseen ja rakennuksesta pois. Puhaltimet ovat yleisesti ilmastointikoneiden tulo- ja poistopuhaltimia, sekä tapauskohtaisesti erillispoistoja silloin, kun ilma kuljetetaan keskitetysti pois niistä tiloista, joihin eivät tavallisen ilmankierron puhallintehot tai vir-

taukset riitä. Ilmakiertoiset järjestelmät voidaan jakaa pääsääntöisesti vakioilmavirtaisiin (CAV-) ja muuttuvailmavirtaisiin (VAV-) järjestelmiin.

4.1.1 Vakioilmavirta CAV-järjestelmät

CAV-järjestelmän (Constant Air Volume) nimi tulee *vakioilmavirrasta*. Tämä tarkoittaa, ettei järjestelmällä pyritä muuttamaan ilmavirran määrää huonekohtaisesti, vaan yleensä säätö ja asetukset jätetään ilmastointikoneelle. Tällaisen jäähdytysjärjestelmän jäähdytyksen- ja lämmityksentarve määräytyy yleensä huoneista saaduilla lämpötilojen keskiarvolla. Lämpötiloja voidaan mitata joko huonekohtaisesti tai poistokanavasta yhteisesti. Huonekohtaisten säätöjen puuttuessa järjestelmästä se tarkoittaa, että huoneita lämmitetään ja jäähdytetään keskitetysti järjestelmän toimiessa aina koko ilmastointialueelle, jolloin se kattaa kaikki ilmastointikoneeseen liitetyt huoneet ja tilat. Tästä johtuen tulee vastaan useasti tilanne, jossa on tarvetta korjata yksittäisien huoneiden lämpötiloja jälkijäähdytys- tai lämmityspattereilla alla olevan kuvan 17. mukaisesti [1, s.129].



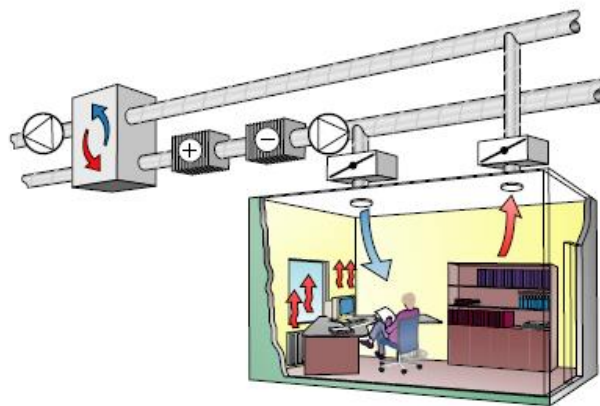
Kuva 17. Vakioilmavirtaisen ilmastoinnin periaatekaavio [2, s.23].

CAV-järjestelmällä siis puhalletaan jäähdytyskäytössä rakennukseen vakioilmavirtaa tuloilmakoneella, jonka jäähdytysteho mitoitetaan kesän jäähdytystarpeen mukaan. Järjestelmän puhallustehoa säädetään yleensä kellonajan ja rakennuksen käyttöasteen

mukaan. Järjestelmä sopii hyvin kohteisiin, missä eri tiloilla on saman suuruinen lämpökuorma.

4.1.2 Ilmavirtasäätöiset VAV-järjestelmät

VAV-järjestelmän (Variable Air Volume) nimi tulee *vaihtuvasta tai muuttuvasta ilmavirrasta*. Näillä tarkoitetaan järjestelmiä, joissa jokaisen huoneen yhteyteen on liitetty ilmavirran säätöön IMS-pellit. IMS-pelleillä voidaan ohjata jokaiseen huoneeseen haluttu ilmamäärä. Järjestelmässä samoin kuin vakio ilmavirrassa tuloilman lämpötila säätö tuloilmakoneessa jäähdytys- ja lämmityspattereilla, mutta huoneisiin ei tarvitse puhalltaa ilmaa enempää kuin tarvetta. Yleensä tällaisen järjestelmän lämpötilaa säädetään säätökäyrällä tai poistoilman kaskadisäädön mukaan ja vastaavasti tuloilman puhallintehoa rakennuksen käyttöasteen mukaan taajuusmuuttajilla. Ilmamääräsäätöisen järjestelmän ilmastointikanavien paine pyritään pitämään vakiona, yleensä kanaviston kauimmaiseen haaraan asennetun paineanturin avulla. Alla olevan kuvan 18. mukaiset toimilaitteet vaaditaan VAV-järjestelmän toimintaan [1, s.130].



Kuva 18. Ilmamääräsäätöisen ilmastoinnin periaatekaavio. [2, s.22]

Ilmamääräsäätöisellä järjestelmällä saavutetaan yleensä parempi sisäilmaluokitus kuin vakioilmavirralla. VAV-järjestelmällä on usein S2-sisäilmaluokitus. Ilmamäärän säädöllä voidaan VAV-järjestelmässä vaikuttaa paremmin lämmityksen ja jäähdytyksen lisäksi myös ilmanlaatuun. Tilat varustetaankin monesti liiketunnistimilla ja kyseiseen tilaan aletaan siirtää ilmaa vasta, kun tila on käytössä. Suurissa rakennuksissa tämä yhdistet-

tynä koneiden alueella vaikuttavien ilmastointikoneiden ilmamäärän säätöön saadaan turhakäyntiä ja turhaan jäähdytettyjä tiloja karsittua hyvin tehokkaasti.

VAV-järjestelmä mittaa yleensä huonekohtaisesti huoneen lämpötilaa, sitä onko huoneessa henkilöitä ja mahdollisesti henkilöistä syntynyttä hiilidioksidipitoisuutta. Näiden avulla säädetään huoneeseen mitoitettuja minimi- ja maksimi-ilmamääriä, jotka hoitavat tilan jäähdyttämisen ja riittävän ilmanlaadun varmentamisen kierrättämällä sisäilmaa nopeammin tai hitaammin. VAV-järjestelmän monipuolisuuteen liitettynä luvun 4.2.3 vesikiertoinen huonekohtainen jäähdytyspalkki tai ilmastointimoduuli kattaa aika pitkälle nykyaikaisen niin sanotun kattavan comfort-järjestelmän.

4.2 Vesikiertoiset jäähdytysjärjestelmät

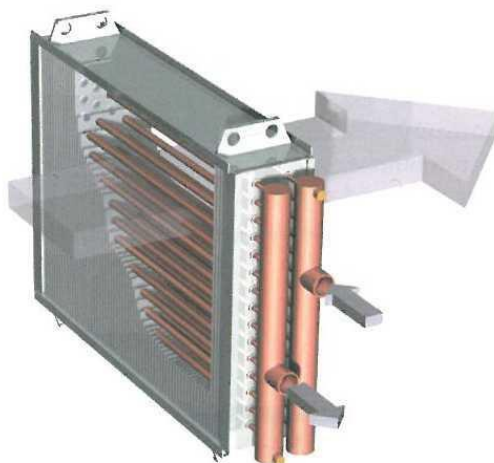
Aina ei kuitenkaan pystytä saavuttamaan haluttua lämpötilaa pelkästään ilmavirran avulla huoneiden lämpökuormien johdosta. Tällöin on syytä lisätä kylmälaitoksella tuotettua kylmää luovuttavia järjestelmiä kiinteistön tiloihin ja huoneisiin. Näistä ehkä suurimmassa merkityksessä on tuloilmakoneisiin liitetyt jäähdytyspatterit, jotka hyödyntävät myös aiemmin käydyt ilmakiertoiset järjestelmät. Muita yleisesti käytössä olevia kiinteistön jäähdytyslaitteita ovat huoneisiin asennettavat jäähdytyspalkit, puhallinkonvektorit ja näiden yhdistelmät. Vesikiertoiset järjestelmät ovat kasvaneet hurjasti huonesäästöisten järjestelmien lisääntyessä. Nykypäivänä uusia toimitiloja rakennettaessa käytännössä kaikkiin asennetaan vesikiertoiset järjestelmät kattamaan kaikki työskentelytilat, missä lämpökuormaa syntyy ja sisäilmastolla on merkitystä [1, s.130].

Vesikiertoisien järjestelmien kanssa on aina huomioitava ilman kondensoituminen kylmemmälle pinnalle. Tällä ei ole vaikutusta märkäjäähdytyslaitteilla, mutta jäähdytyslaitteille, joissa ei ole kondenssipoistoa ja joita ei ole suunniteltu ilman kuivattamiseen, täytyy rakennusautomaatiolla monesti tehdä kastepisteen korjauksia jäähdytysverkostojen lämpötiloille loppukesän lämpöisinä ja kosteina päivinä.

4.2.1 Tuloilmakoneiden jäähdytyspatterit

Tuloilmakoneisiin liitetyt jäähdytyspatterit siis siirtävät jäähdytysverkostosta saatavan kylmän ilmastointikoneiden puhaltamaan ilmaan. Jäähdytyspatterit ovat sijoitettuna ilmastointikoneiden sisään tai jälkijäähdytyspattereissa siihen ilmastointikanavaan,

missä jälkijäähdytystä tai -lämmitystä tarvitaan. Jäähdytyspatterit jaotellaan vesikiertoi-
siin tai suoraohyrystin pattereihin. Vesikiertoiset patterit ottavat kylmänsä jäähdytysver-
kostosta ja suoraohyrystin patterit suoraan jäähdytyskoneen kylmäainepiiristä. Alla
oleva kuva 19. havainnollistaa jäähdytyspatterin rakennetta.



Kuva 19. Ilmastointikoneen jäähdytyspatteri [1, s.170].

Jäähdytyspatterit ovat pääsääntöisesti lamellilämmönsiirtimiä. Niiden sisällä kiertävät kupariputket, joiden sisällä jäähdytysverkon neste kiertää. Näihin kupariputkiin on juotettu alumiiniset lamellilaipat ilmavirransuuntaisesti. Lamellilaipoilla saadaan lisättyä ilman kanssa kosketuksissa olevaa lämmönsiirron pinta-alaa. Pattereihin on aina liitetty kondensoituvalle vedelle kondenssikaukalo ja kondenssiveden poistoputkistolle liitännät, joilla saadaan ylimääräinen kondenssivesi helposti siirrettyä viemäriin. Rakentamismääräyskokoelma D2 määrittää jäähdytyspattereille vaadittavat mitoituspisteet ja patterit mitoitetaan siten, että ne pystyvät ympärivuoden jäähdyttämään ilmastointikoneen ilmavirran mukaisen määrän ilmaa 25 °C:n ulkolämpötilassa ja 55 kJ/kg kosteuden entalpialla haluttuun lämpötilaan. Kiinteistöön ilmastointikoneilla puhallettavan ilman lämpötila vaihtelee kohteen mukaan. Yleisesti ottaen se on +14...20°C [14, s.6].

Jäähdytyspatterilla on toinenkin tärkeä tehtävä ilmastoinnin kannalta, koska jäähdytyspatterin lämmönsiirronpinta on yleensä ulkoilmaan nähden kastepisteessä kesän kuumina päivinä. Patteriin kondensoituu ilmassa olevaa kosteutta, kun ulkoilmasta ilmastointikoneeseen saapuvan lämpimän ilman ja vesikiertoisen jäähdytyspatterin kylmän pinnan lämpötilaero on matalampi, kuin ulkoa tulevan ilman kastepistelämpötila. Tästä johtuen patteriin alkaa kondensoitua vettä eli toisin sanoen läpivirtaavan ilman sisältä-

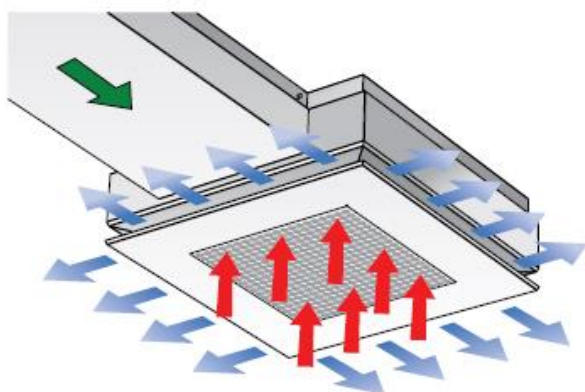
mä kosteus alkaa pisaroitua tai muuttua kalvoksi kylmemmän jäähdytyspatterin pintaan.

Poistamalla kosteuden aiheuttamaa kondenssivettä jäähdytyspatterilla pystytään pitämään huonetilojen kosteudet kurissa samalla, kun kiinteistöön tuodaan jäähdytettyä ilmaa. Jäähdytyspatterilla siis toisin sanoen kuivataan rakennuksen ilmaa ja poistetaan ilman latenttia lämpökuormaa. Jäähdytyspatterissa on helppo toteuttaa liian kosteuden poisto ilmasta, ja patterista on myös helppo siirtää ylimääräinen kosteus kondenssiputkia pitkin pois ja näin ollen varmistua siitä, ettei rakennukseen pääse liikaa kosteutta.

4.2.2 Jäähdytyspalkit

Jäähdytyspalkit ovat rakennuksen huoneisiin asennettavia laitteita. Näistä aktiiviset ovat yleisemmin käytössä ja hyödyntävät huoneisiin tulevia ilmastointikanavia. Jäähdytyspalkin toiminta perustuu siihen, että huoneeseen tuleva ilmavirta kulkee vesijäähdytteisen palkin läpi. Palkin toiminta on hyvin samankaltainen kuin kuvan 19. jäähdytyspatterin, mutta tällä kertaa se on sijoitettuna huoneeseen. Jäähdytyspalkin patterille tulevaa jäähdytysverkoston vettä säädetään yleensä 2-tieventtiilillä, joka avaa jäähdytyspalkin patterin läpi vesikierron tarpeen mukaan. Jäähdytyspalkkeja on kahta eri tyyppiä, *passiivipalkki* ja *aktiivipalkki*.

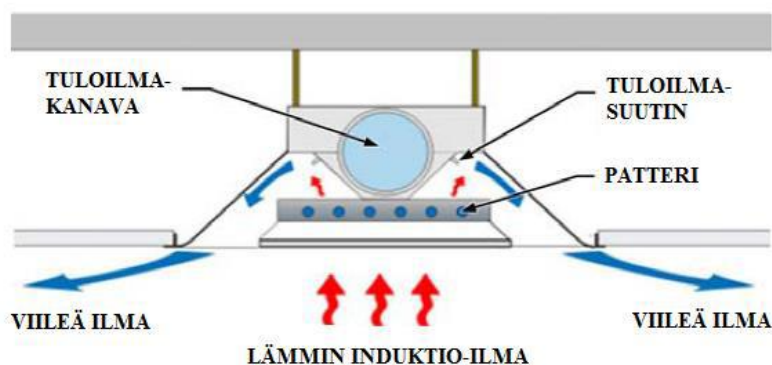
Kuvan 20. mukaisen aktiivipalkin toiminta perustuu huoneeseen tulevan ilman ja huoneessa olevan ilman kierrättämiseen. Huoneen lämmin ilma imetään induktion avulla jäähdytyspalkin läpi ja puhalletaan sivuille samalla sekoittaen tuloilman kanssa.



Kuva 20. Aktiivinen jäähdytyspalkki, jonka läpi puhalletaan huoneiston tuloilma [2, s.26].

Aktiivisella jäähdytyspalkilla saavutetaan korkea jäähdytysteho, se on hyvin kustannustehokas ratkaisu huoneiden jäähdyttämiseen ja sitä voidaan käyttää myös tilojen lämmittämiseen tarvittaessa. Jäähdytyspalkkien kannalta on kuitenkin muistettava kosteuden kondensoituminen ja tarvittaessa loppukesän kosteushuippuina on tarve nostaa palkkiverkoston veden lämpötilaa kondensoitumisen estämiseksi.

Aktiivisen jäähdytyspalkin jäähdytystehoon vaikuttaa tulevan ilmavirran määrä, palkin läpi kulkevan ilman nopeus palkin tuloilmasuuttimissa, jäähdytysveden lämpötila ja jäähdytyspatterin koko. Huonekosteuden sitomalla jäähdytysteholla ei ole vaikutusta silloin, kun pidetään palkin lämpötila yli kastepisteessä. Aktiivipalkin jäähdytyksen säätöön ja tehoon voidaan parhaiten vaikuttaa palkin läpi virtaavan jäähdytysveden lämpötilalla tai nostamalla ilmavirtausta suuttimissa, pienentämällä ilmavirtauksen suuttimia. Kuvassa 21. on kuvattu palkin toimintaan liittyvät osat. Jäähdytysveden lämpötila aktiivipalkeilla on yleisesti +14...16 °C kondensoitumisen estämiseksi.

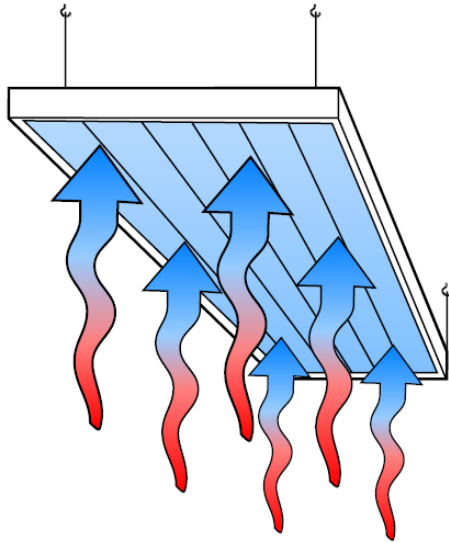


Kuva 21. Aktiivinen jäähdytyspalkki tai ilmastointimoduuli [2, s.24].

4.2.3 Jäähdytyspaneelit eli passiiviset jäähdytyspalkit

Jäähdytyspaneeli kuvassa 22. tai toiselta nimeltään passiivipalkki on vähemmän käytetty ratkaisu. passiivipalkissa hyödynnetään kattoon asennettua vesikiertoista paneelia, jonka läpi jäähdytysvesi kiertää. Paneelin vesikiertoa ohjataan aktiivipalkin tavoin 2-tieventtiilillä. Paneelin toiminta perustuu konvektioon, jossa huoneen kuumailma nousee vesikiertoisen paneelin läpi ja jäähtynyt ilma painuu takaisin alas. Samoin kuin aktiivipalkissa, myös paneelin käytössä pitää huomioida ilman kosteuden kondensoituminen. Patterin läpi kiertävän veden on oltava aina ilman kastepistelämpötilaa suurempi.

Jäähdytysveden lämpötila passiivipalkeilla on yleisesti +14...16 °C kondensoitumisen estämiseksi. [2, s.25]



Kuva 22. Passiivinen vesikiertoinen kattopaneeli [2, s.25].

4.2.4 Puhallinkonvektorit

Puhallinkonvektorit ovat yleisesti käytössä huoneissa missä on jäähdytys- tai lämmitystarvetta ja puhaltimen tuottama ääni ei ole haittana. Puhallinkonvektorin kuvassa 23. toiminta perustuu puhaltimen ja lämmitys- tai jäähdytyspatterin toimintaan, jotka toimivat itsenäisinä järjestelminä huoneessa. Konvektorit eivät ole riippuvaisia tilan muista ilmastoinneista ja ovat usein melko edullinen ratkaisu jäähdytys- ja lämmitystehon kannalta. Konvektorit varustetaan usein myös omilla kondenssiputkilla ja viemäreillä, ja tämän takia ne pystyvät toimimaan hyvin myös märkääjäähdytyksen vaatimissa sovelluksissa. Konvektoreita voidaan rakentaa siis kondensoiviksi, ja silloin ne hoitavat tilan kuivattamisen samalla, sallien patterille tulevan lämpötilan huomattavasti kastepistettä alemman lämpötilan. On kuitenkin syytä huomioida märkääjäähdytyksen vaatiman jäähdytystehon osuuden kasvu, kun mitoitetaan konvektorin jäähdytystehoa.



Kuva 23. Kattoasenteinen modulaarinen puhallinkonvektori [16].

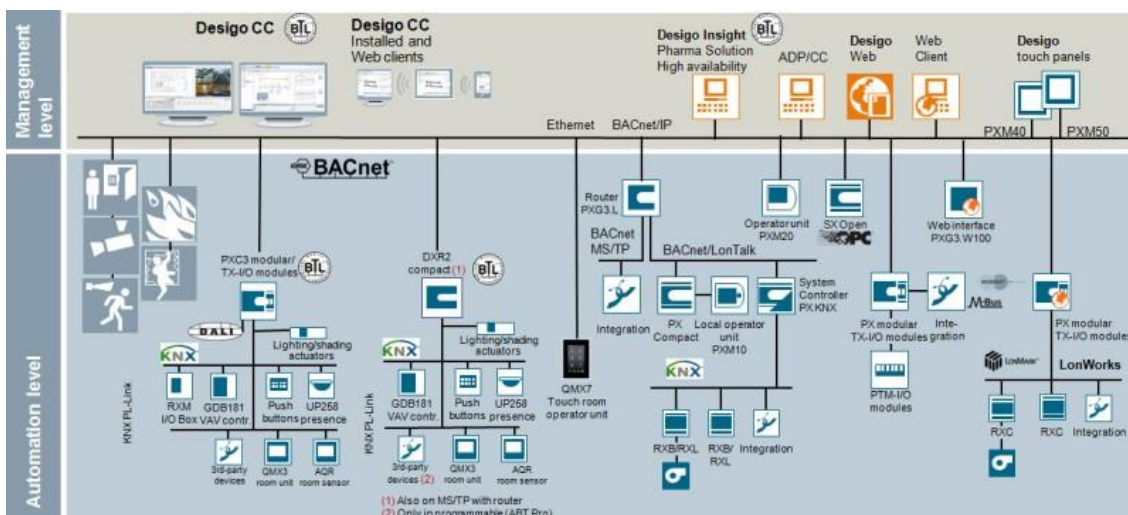
Puhallinkonvektori sisältää yleensä kotelon, puhaltimen ja jäähdytys- tai lämmityspatterit, sekä kondenssiveden putkiston. Puhallin kierrättää huoneiston ilmaa lävitsensä samalla jäähdyttäen tai lämmittäen kierrättämäänsä ilmaa. Puhallinkonvektorit ovat monesti kuvan 23. mukaisia kasettimallisia eli modulaarisia. Ne on helppo asentaa alakattoihin. Silloin putkitukset saadaan piiloon alakattojen sisälle ja asennuksista tulee lopputulokäyttäjälle huomaamattomia [6, s.332].

Konvektoria säädetään usein tilaan asennettavan käyttöpaneelin tai rakennusautomaation avulla. Säätimellä tai automaatiolla pystytään määrittelemään tarpeeseen sopiva puhallinteho ja haluttu huoneen lämpötila. Puhaltimien kierrosnopeutta voidaan konvektorista riippuen säätää portaissa tai portaattomasti. Konvektorille liitetään yleensä 2-tieventtiili, jos konvektorin patteri on vapaasti läpivirtaava tai 3-tieventtiili, jos konvektorilla tahdotaan säätää jäähdytyspatterin käyttämä jäähdytyslämpötila. Tyypilliset jäähdytyskonvektoreiden lämpötilat suomessa ovat +7...12 °C [2, s.26].

5 Rakennusautomaation ja jäähdytysjärjestelmien liittäminen

Rakennusautomaatiolla on nykypäivänä suuri merkitys kiinteistön hallinnassa. Aiemmin on automaatiolla pääsääntöisesti hoidettu vain LVI-järjestelmien ohjausta, mutta nykypäiväinen rakennusautomaatio järjestelmä kattaa hyvin paljon toimintoja ja tehtäviä, joita aiemmin on täytynyt tehdä käyttäjän käsin tai hajautetuissa järjestelmissä. Kiinteistöautomaation piiriin liitetään yhä enemmän ja enemmän järjestelmiä ja rakennuksen hallinnan eri osia. Kiinteistön lämmitys-, jäähdytys-, ilmanvaihto-, rikosvalvonta-, kulunvalvonta-, paloilmoitin-, valaistuksenohjaus- ja hissijärjestelmät ovat kaikki yhä enemmän siirtymässä tai liitettynä rakennusautomaation ja valvonnan alle.

Nykyaikainen kuvan 24. kaltainen rakennusautomaatiojärjestelmä koostuu lukuisista antureista, tunnistimista, säätimistä, puhaltimista, pumpuista, venttiileistä ja muista toimilaitteista, joilla säädetään sekä ohjataan kiinteistön eri järjestelmien ja osa-alueiden toimintaa. Kiinteistöautomaatiota voisikin kuvata yhdistävänä tekijänä, jolla hallitaan kaikkien osa-alueiden yhteistä toimintaa. Kiinteistöautomaatiolle tulee eri laitteista ja antureista joka sekunti valtavasti tietoa, jota järjestelmä analysoi ja tallentaa. Järjestelmä tekee tarvittaessa säätöihin ja käyntikäskyihin ohjelman mukaisia muutoksia sekä tarvittaessa hälyttää vikatilanteita tai havaitsemiaan poikkeuksia eteenpäin kohteesta vastaavalle henkilöstölle, että he osaavat reagoida ongelmiin riittävän nopeasti.



Kuva 24. Siemens-rakennusautomaatio järjestelmänä [17].

5.1 Siemens Desigo Insight-rakennusautomaatiojärjestelmä

Desigo Insight on Siemensin tällä hetkellä käytetyin järjestelmä. Se on hyvin kehittynyt nykyaikainen kiinteistön automaatiojärjestelmä ja sisältää sovelluksia lähestulkoon kaikkeen, mitä nykypäivänä automaatiojärjestelmältä vaaditaan.

Yleisimpiä käyttösovelluksia rakennusautomaatiojärjestelmälle ovat

- eri järjestelmäkokonaisuuksien hallinta, selaus ja ohjaus
- hälytysten jatkoreititykset, selaus ja lokit
- aikaohjelmatoiminnot
- prosessien graafiset piirustukset, niiden hallinta
- trenditietokantojen tallennus ja hallinta
- lokitietokantojen tallennus ja hallinta
- raportointi työkalu ja automaattiset raportit

5.2 Siemens-rakennusautomaatio järjestelmän laitteet ja osat

Rakennusautomaatio voidaan yleisesti ottaen jakaa kolmeen tasoon. Alimmalla tasolla on kenttä- ja huonelaitteet. Näiden tehtävä on ohjata, mitata ja säätää prosesseja. Keskimmaisella tasolla sijaitsee automaatiotaso, jonka tehtävänä on itsenäisesti hallinnoida kiinteistön prosesseja. Ylimmällä tasolla on hallintataso, jota käyttäjät operoivat tarkkaillen järjestelmien toimintaa valvomo ohjelmistoilla. Näihin kuuluu myös osana tämän työn automaatioliitännät, jotka sijaitsevat kenttälaitetasolla.

5.2.1 Valvomo

Desigo insight voidaan jakaa eri osa alueisiin. Itse Desigo Insight on Siemensin valvomosovellus ja hallinnointiympäristö, joka kerää kaiken automaatiojärjestelmän datan ja auttaa hallinnoimaan ja ohjaamaan sitä. Tätä varten on liitetty kiinteistön automaatiojärjestelmään valvomo-ohjelmistolla varustettu tietokone, jonka kautta hallinnointi tapahtuu. Valvomo voi olla kiinteistössä paikallinen kone tai pilvipalveluna tarjottu koko-

naisuus, jossa kiinteistön alakeskukset lähettävät tietonsa suojatun etäyhteyden läpi konesalissa sijaitsevaan valvomokoneeseen.

5.2.2 Alakeskukset

Desigo Insight-järjestelmän Desigo PX –taso, joka viittaa PX-alakeskuksiin tai lyhyemmin ja nykypäivänä käytetty automaatiotaso tarkoittaa laitetasoa, jossa kaikki itsenäiset alakeskukset ja niiden apulaitteet sijaitsevat. Siemensin PX-automaatioyksiköt on suunniteltu varta vasten rakennuksen automaatiota silmällä pitäen. Nämä alakeskukset hallinnoivat prosesseja ja ylläpitävät järjestelmään liitettyjen laitteiden toimintaa. Alakeskukset voidaan liittää toisiinsa ja kiinteistön automaatiojärjestelmään IP-verkon tai LON-verkon kautta. Alakeskusten kommunikointi perustuu yleisesti käytössä olevaan BACNET-kommunikointiin. Eri kokoisia prosessoreita on saatavissa tarvittavalle piste-määrälle aina pienistä yksikkösäätimen kokoisista muutaman I/O-pisteen kattavista suuriin tämänkin työn liitännäspisteiden määrän reilusti kattaviin prosessoreihin. Alakeskusten prosessoimien pisteiden määrän ylittyessä, on järkevää lisätä uusi prosessori tai vaihtaa prosessori isompaan. Järjestelmään voidaan liittää melkein rajattomasti alakeskuksia, mistä johtuen kaikille kohteille löytyy sopiva ratkaisu.

5.2.3 Huone- ja kenttälaitteet

Alimmalla niin sanotulla kenttätasolla ovat laitteet, jotka toimivat osana itse prosessia. Näihin luetellaan yleisesti kenttälaitteet ja huonelaitteet. Siemensillä on myös huone- ja kenttälaitesovelluksille erittäin kattavat tuoteperheet ja huonelaitteiden väyläratkaisuille oma ohjelmistoympäristö, jolla kaikki kiinteistön huonelaitteet liitetään järjestelmään. Näitä laitteita voidaan liittää lukuisilla eri tavoilla. Lähestulkoon kaikki eri kenttäväyläratkaisut ja huonesäätimien vaatimat väylät ovat järjestelmään liitettävissä. Valtaosa tämän insinööritoiminnan vaatimista liitännöistä on puhtaita I/O-liitäntöjä vaikkakin pumppujen ja jäähdytyskoneiden liittäminen myös väyläratkaisuna on mahdollista väylämuuntimien avulla.

5.3 Kylmälaitoksen ja jäähdytyslaitteiden liitännät

Jäähdytyslaitteiden liitäntä automaatioon voi tapahtua yhden tai useamman eri alakeskuksen kautta. Toisinaan saattaa olla viisaampi viedä automaatio lähemmäksi proses-

sia, kuin tuoda prosessilta pisteet kauaksi automaatiokeskukseen. Tämän työn kannalta ei ole merkityksellistä, mihin alakeskukseen suunnitellut pisteet liitetään, koska työssä keskityttiin tutustumaan jäähdytyksen eri vaihtoehtoihin, jäähdytysteoriaan ja seuraavassa ohjelmointiosuudessa rakennetaan helposti käyttöön otettava sovelluspohja, jota voidaan tarvittaessa kopioida, muunnella ja siirtää uusiin alakeskuksiin helposti ja vaivattomasti. Jäähdytyksen eri osa alueita ohjelmassa huomioitiin useita. Nykyaikainen vähänkin laajempi kylmälaitos sisältää aika pitkälle kaikki teoriapuolella ja ohjelmassa käsiteltävät laitteet.

Kohteen lämpökuormasta ja riippuen siitä, tahdotaanko varmentaa järjestelmän toimivuutta, saatetaan kohteeseen asentaa useampi kompressorilaitos. Näille on hankittava lisäksi yhteinen tai omat vapaajäähdytyspatterit ja nestelauhduttimet kaikkine apulaitteineen. Ohjelmassa huomioidaan useamman kompressorilaitoksen yhteinen toiminta apulaitteineen. Jäähdytysverkostoja on pääsääntöisesti aina enintään kolme käytössä. IV-verkostojen jäähdytyspattereille omansa, jäähdytyspalkki ja huonelaitteille oma verkostonsa, sekä konvektoreiden jäähdytysverkosto omanaan. Nämä siksi, että näille kaikille laitteille tahdotaan usein eri lämpötilat ja sen takia jokainen vaatii oman verkostonsa vaikkakin ne käyttävät yhteistä jäähdytysverkon varaajaa. Joissain tapauksissa saattaa olla tarpeen kierrättää ja sekoittaa lämmennyt laitteilta palaavaa nestettä piirille rakennetun kierron avulla takaisin. Tällaista kierrätystä kutsutaan niin sanotuksi sunttikierroksi ja sillä saadaan nostettua tarpeen tullen verkoston laitteille menevää lämpötilaa.

Ohjelmoitava järjestelmä on suunniteltu kattavan järjestelmän pohjalta, ja sitä on helppo muokata myös yksinkertaisempia ratkaisuja vain poistamalla käytöstä ja ohjelmasta osiot, joita ei tahdota ottaa käyttöön. Työn liitännät toteutetaan I/O-pisteinä ja liitetään alakeskuksiin sijoitettuihin I/O-moduuleihin. I/O-moduuleita on Siemensin alakeskuksiin saatavissa eri tyyppejä riippuen siitä, minkälaisia pisteitä tai laitteita halutaan liittää. Ohjauksille, lämpötiloille, mittauksille, säädöille, väylälaitteille ja mittareille, on kaikille omat moduulinsa. Näissä on moduulista riippuen yksi tai useampi liitäntätyyppiä vastaava liitäntäpiste. Moduuleita ja mittapisteitä voidaan yhteen alakeskukseen pistää vain rajattu määrä riippuen alakeskuksen prosessorin koosta.

Tarkempaa tietoa järjestelmän komponenteista ja niiden teknisistä ominaisuuksista ja yleisesti järjestelmän toiminnasta löytyy Siemensin kotisivuilta tai useasta eri rakennusautomaatiota koskevasta toiminnan esitteestä tai aiheesta tehdyistä insinööritöistä.

Rakennusautomaatiojärjestelmän perusteellista esitystä ja toimintaa ei tässä työssä lähdetty tekemään vaan keskityttiin rakennusautomaation jäähdytyssovelluksiin.

6 Desigo Xworks Plus-ohjelmointi

Tämän työn jäähdytyssovellusten ohjelmistona toimii Desigo Xworks Plus-ohjelmisto ja ohjelmointi tapahtuu D-MAP-ohjelmointikielellä. Siemensin D-MAP-ohjelmoinnissa käytetään lohkoja ja komponentteja hyvin pitkälle samalla käytännöllä kuin muissa graafisissa ohjelmointialustoissa. Eri lohkojen ja valmiiden komponenttien avulla linkitetään haluttuja toimintoja yhteen isommiksi kokonaisuuksiksi. Ohjelmointi suoritetaan Xworks-ohjelmistossa CFC-editorilla (Continuous Function Chart). Se on graafinen työkalu, joka perustuu lohkojen sekä toimintojen helppoihin linkityksiin, ja sillä on myös helppo muokata funktioita ja niiden parametreja. Funktioilla ja eri lohkoja yhdistämällä halutut toiminnot yhdistetään suuremmiksi osakokonaisuuksiksi ja sovelluksiksi eri tasoissa ja käännetään lopuksi automaatio alakeskuksen ymmärtämään muotoon. Ohjelmalohkojen sisääntulo- ja ulostulotoiminnot linkitetään niin sanotuilla pinneillä ja nämä pinnit liitetään ylempiin ja alempiin tasoihin ruudun vasemmalle ja oikealle liitettyihin datalohkoihin. Ohjelmointisivujen vasemmalla laidalla on ylemmältä tasolta tulevat pinnit ja sama pätee lohkoihin, missä vasemmalla on sisääntulot. Vastaavasti ohjelmointi ohjelman lehtien oikealla laidalla on ylemmälle tasolle lähtevät pinnit ja lohkoissa ulostulopinnit. Koko toteutetusta ohjelmistosta on (Liite 2.) kuvattu hakemistopuumuotoinen listaus, josta järjestelmässä huomioitujen suurempien osien kokonaisuus selviää.

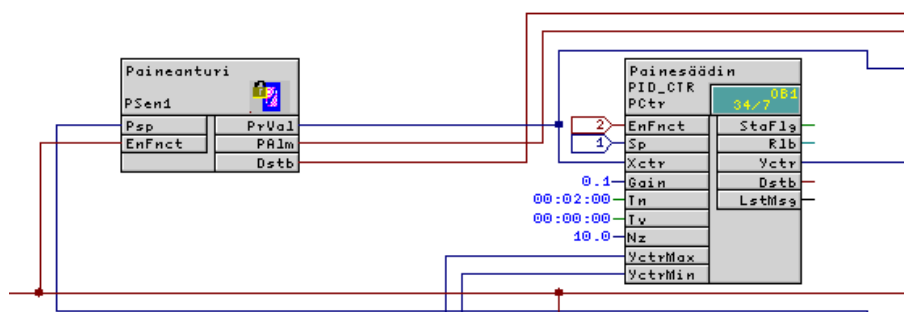
Nykypäiväisissä automaatiosovelluksissa niin kuin myös Siemensin järjestelmässä on jo vuosia kasvanut ohjelmistokomponenttien kirjasto käytettävissä. Myös tämän työn osalta on käytettävissä perus komponentteja ja lohkoja, jotka on ohjelmiston kehitys ja versiopäivityksien yhteydessä niputettu valmiiksi ohjelmistolohkoiksi. Ne sisältävät monipuolisesti ohjelman kannalta tärkeitä toimintoja yhteen liitettynä. Tämän johdosta säästytään vaivalta ohjelmoida päivittäin käytössä olevia lohkoja uudestaan. Yhteisen sovelluskirjaston hyödyntäminen helpottaa automaatiosovellusten hallintaa pitkällä aikavälillä, kun järjestelmän kaikki ohjelmistot noudattavat yhteistä ohjelmointi kaavaa toimiakseen.

Seuraavissa luvuissa käydään läpi pääpiirteittäin rakennettujen jäähdytys sovellusten toiminnot ja niiden ohjauksiin vaikuttavat asiat. Ohjelman esittelyssä ei käydä läpi kaik-

kia ohjelman toimintoja tai lohkojen perustoimintaa, kuten esimerkiksi lämpötilamittauksien yläraja- ja alarajahälytyksiä hälytysviiveineen. Lämpötilojen ylärajoille ja alarajoille on olemassa aseteltavat hystereesit ja hälytyksien aktivoitumisille säädettävät viiveet, jotka saa lopullisessa valvomografiikassa käyttäjä asettaa mieleisekseen tai järjestelmän käyttöönottaja asettaa käyttöönotossa suunnittelijan asettamille arvoille. Ohjauksien ja niistä saatujen tilatietojen ristiriitoja ei myöskään käydä läpi. Näistä kaikista nousee järjestelmässä valvomoon hälytys ristiriitahälytyksen viiveen jälkeen. Painemittauksien yläraja- ja alarajahälytykset käyttäytyvät samoin lämpötilahälytysten kanssa ja ovat myös aseteltavissa grafiikalta. Vastaavanlaisia tilatietoja, hälytyksiä, ohjauksien ristiriitoja ja lämpötilapoikkeuksia on ohjelmassa lukuisia, ja koska näitä edellä mainittuja on ohjelmassa noin sadan ohjaus- ja mittauspisteen verran, paisuisi ohjelman esittely turhan laajaksi. Koko ohjelmistoon suunnitellut pistelistaukset ovat nähtävissä liitteessä 3.

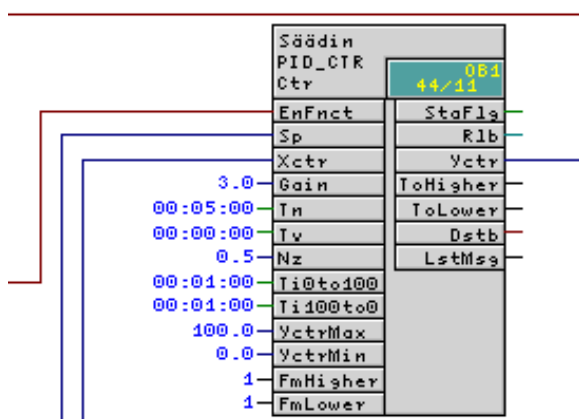
6.1 Paine- ja lämpötilasäädöt

Painesäädöt ovat perinteisiä PI-säätöjä PID-säätimillä toteutettuna, ja niiden vahvistuksena käytetään hyväksi havaittua ja rauhallista 0.1-vahvistusta. Integrointiaikana käytetään kahta minuuttia. Näillä arvoilla säätö on hyvin rauhallinen, minkä johdosta pumpput eivät turhaan ramppaa pienistä paineen vaihteluista. Kuolleena alueena pidetään 10 Pascalin vaihtelua, tällöin säädin ei reagoi kuin yli 10 Pascalin muutoksiin. Derivointia eivät normaalit painesäädöt tarvitse. Se voidaan asettaa nolnaan, niin säädin ei sitä huomioi.



Kuva 25. Pumppujen painesäätöjen vakio asetukset.

Lämpötilasäätöjen ohjaamien venttiileiden säädöissä vahvistukset ovat hieman suuremmat osittain siksi, että lämpötilavaihteluiden mitta-alue on pienempi kuin painesäädöissä ja näin saadaan järjestelmä reagoimaan pienemmän mitta-alueen toimintaan riittävän nopeasti. Käytetään lämpötiloille hyväksi todettuja vakio arvoja vahvistukselle 3,0 ja integrointi ajalle 1...5 minuuttia. Lämpötilojen kuollut alue, jota pienempiin lämpötilavaihteluihin säädin ei reagoi, on 0,1...0,5 °C. Lisäksi lähtevän säätöviestin ulostulon venttiilien avautumiseen ja sulkeutumiseen kuluviaksi ajoiksi on asetettu 1 minuutti. Lämpötilasäädöissä voitaisiin rajoittaa säätimen ulostulon minimi- ja maksimiarvoja, mutta tällä kertaa ei ole tarvetta.

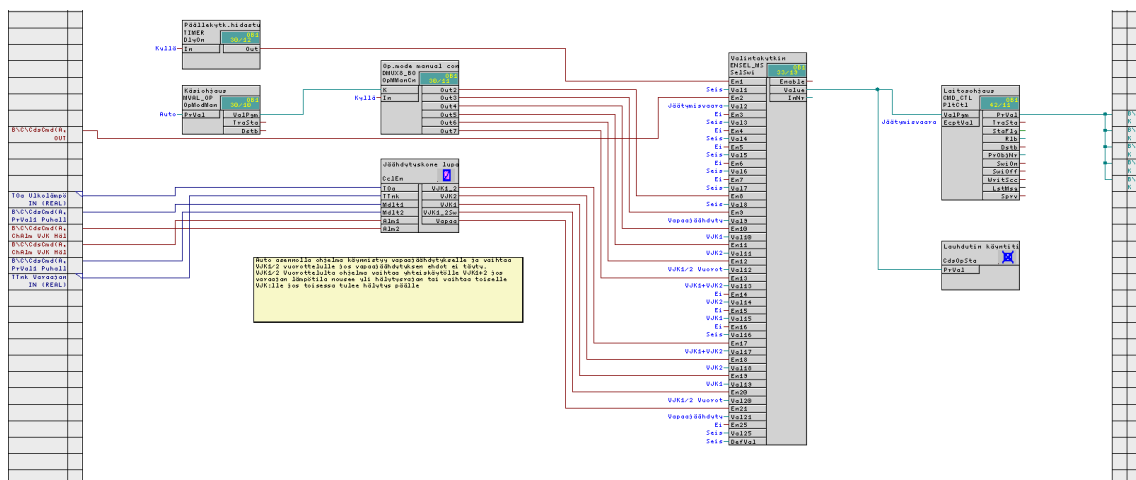


Kuva 26. Lämpötilasäätöjen vakioarvot.

Verkoston lämpötilasäädöissä ei ole käytännössä vaaraa jäätymiselle, kun ohjelma on tehty kylmälaitoksille, joissa lauhdepuolella käytetään liuosta. Muissa kiinteistöautomaation sovelluksissa nopeampaa säätöä tarvitaan esimerkiksi tuloilman lämmityspattereissa, missä vesi virtaa alttiina ulkoa tulevalle pakkasilmalle tai vastaavasti käytöveden säädössä kulutuspiikkien aiheuttaman lämpötilamuutoksen heilahduksiin, joihin säätimen on reagoitava nopeasti. Kaikki ohjelman säädöt ovat suhteellisen rauhallisia ja näin ollen helppoja toteuttaa ilman sen suurempia virityksiä. Järjestelmän säätöjä ja laitteiden käyttäytymisiä on syytä tarkkailla käyttöönotossa sekä ensimmäisien käyttöönottovuosien aikana ja tarvittaessa korjata, jos säädöissä esiintyy huojuntaa tai poikkeamaa.

6.2 Käynnistys- ja hallintalohkot

Ohjelman toimintaa ja eri laitteita käynnistetään luvan sallissa prioriteettiperusteisesti. Kuvan 27. lohko (keskellä) saa järjestelmästä tiedon järjestelmän tilasta ja muuttaa tilaa vastaavan tulon numeron Integer-luvuksi ja lähettää sen ohjelman käynnistyslohkolle (oikealla ylhäällä), jonka sisällä on koko järjestelmän toimintaa ohjaavat käynnistyskäskyt. Käynnistysohjauslohkolla saadaan siivottua järjestelmää turhilta ohjausnaru-
jen vedoilta, kun muuten jouduttaisiin jokainen käynnistyspinniä vastaava tieto vetämään erikseen ohjattaville ohjauslohkoille.



Kuva 27. Ohjelman prioriteetti perusteinen käynnistys logiikka.

Kuvassa (vasemmalla ylhäällä) on käsiohjauskytkin, jolla valvomosta valitaan haluttu käynti. Ohjelmaan on luotu toiminnot *Auto*, *vedenjäähdytyskone 1*, *vedenjäähdytyskone 2*, *molempien koneiden vuorottelu*, *molempien koneiden yhteiskäyttö* ja *vapaajäähdytys*. *Auto*-tilassa ohjelma käynnistää prioriteetti-perusteisesti vapaajäähdytyksen, jos ulkolämpötila sen sallii. Jos ulkolämpötila on yli asetuksen tai jäähdytysverkoston varaajan lämpötila nousee yli sallitun, niin ohjelma käynnistää vedenjäähdytyskoneet vuorottelulle ja ohjaa vapaajäähdytyksen toimilaitteet kiinni. Vedenjäähdytyskoneen ollessa käynnissä, jos koneeseen tulee vika tai jäähdytysteho ei riitä pitämään varaajan lämpötilaa alle asetuksen, käynnistyy rinnalle toinen kone.

kuvassa 27. (oikealla ylhäällä) sijaitsevan käynnistyslohkon sisälle on rakennettu käynnistysryhmät ja ehdot, joilla tässä jäähdytyssovelluksessa kylmäntuoton kannalta huomiodut apukäynnistyslohkot ohjataan päälle ja pois. Aiemman kuvan 27. jäähdytyslu-
paehtojen tai käsikytken valitsimen mukaan välittyy kuvan 28. käynnistyslohkoon

tieto halutusta käynnistä Integer-lukuna, jonka mukaan käynnistysryhmät ohjautuvat päälle tai pois.

Description	VJK Vuorottelu	VJK1 Ohjausarvo	VJK2 Ohjausarvo	Jäähdytyksen säädöt Säätojen Ohjaus	Lauhdutinpuhallin 1 NJ1 Fan1 Ohjaus	Lauhdutinpuhallin 2 NJ1 Fan2 Ohjaus	lauhdutusverkost on kaksois pumput NJ2 PU Ohjaus	Lauhdutinpuhallin 1 NJ2 Fan1 Ohjaus	Lauhdutinpuhallin 2 NJ2 Fan2 Ohjaus	lauhdutusverkost on kaksois pumput NJ2 PU Ohjaus
Lupa	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kohde	B=ICmdVal	B=ICht1CmdVal	B=ICht2CmdVal	B=ICht1CmdVal	B=ICds1ReCUn1Cmd	B=ICds1ReCUn2Cmd	B=ICds1PuTwnFCM	B=ICds2ReCUn1Cmd	B=ICds2ReCUn2Cmd	B=ICds2PuTwnFCM
Käynnistysvalvonta	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään	Ei mitään
Pääskytk.muto	Hidastettu	Hidastettu	Hidastettu	Heti	Heti	Heti	Heti	Heti	Heti	Heti
Pääskytk.hidastus	00:01:00	00:01:00	00:01:00	Heti	Heti	Heti	Heti	Heti	Heti	Heti
Poiskeytk.muto	Heti	Heti	Heti	Heti	Heti	Heti	Heti	Heti	Heti	Heti
Poiskeytk.hidastus							00:30:00			00:30:00
Operating modes										
Jäätymisvaara	Pois	Pois	Pois	Pois	Pois	Pois	Pois	Pois	Pois	Pois
Priority	Turvatia, auto	Turvatia, auto	Turvatia, auto	Turvatia, auto	Turvatia, auto	Turvatia, auto	Turvatia, auto	Turvatia, auto	Turvatia, auto	Turvatia, auto
Seis	Pois	Pois	Pois	Pois	Pois	Pois	Pois	Pois	Pois	Pois
Priority	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus
Vapaa	Pois	Pois	Pois	Päällä	Päällä	Päällä	Päällä	Päällä	Päällä	Päällä
Priority	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus
VJK1	Pois	Päällä	Pois	Päällä	Päällä	Pois	Päällä	Pois	Pois	Pois
Priority	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus
VJK2	Pois	Pois	Päällä	Päällä	Pois	Pois	Pois	Päällä	Päällä	Päällä
Priority	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus
VJK1/2 Vuorottelu	Päällä	Pois	Päällä	Päällä	Not commanded	Not commanded	Not commanded	Not commanded	Not commanded	Not commanded
Priority	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus
VJK1+VJK2	Pois	Pois	Päällä	Päällä	Päällä	Päällä	Päällä	Päällä	Päällä	Päällä
Priority	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus
NU-pakko	Pois	Pois	Pois	Päällä	Päällä	Päällä	Pois	Päällä	Päällä	Pois
Priority	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus	Erityisohjaus

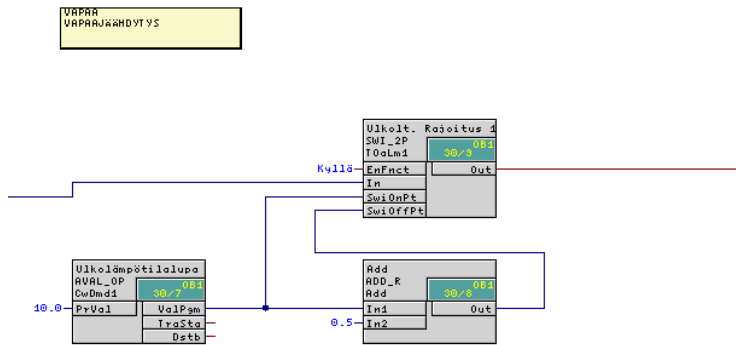
Kuva 28. Käynnistyslohkon ja eri tilojen käynnistämät apukäynnistyslohkot

Jokaiselle apulohkolle voidaan asettaa päälle kytkennälle tai poiskytkennälle hidastus tai viive. Tässä tapauksessa käytetään jäähdytyskoneille 1 minuutin käynnistysviivettä, ja tällöin verkostojen pumput kerkeävät varmasti käynnistyä ennen jäähdytyskoneiden käyntiinlähtöä. Kuten aiemmin teoriaosuudessa selvisi, jäähdytyskoneet vahtivat verkostojen virtauksia ja menevät hälytykseen ja pois päältä, jos jäähdytys- tai lauhdutusverkostoissa ei ole virtausta.

6.3 Jäähdytysluvat ja -ehdot

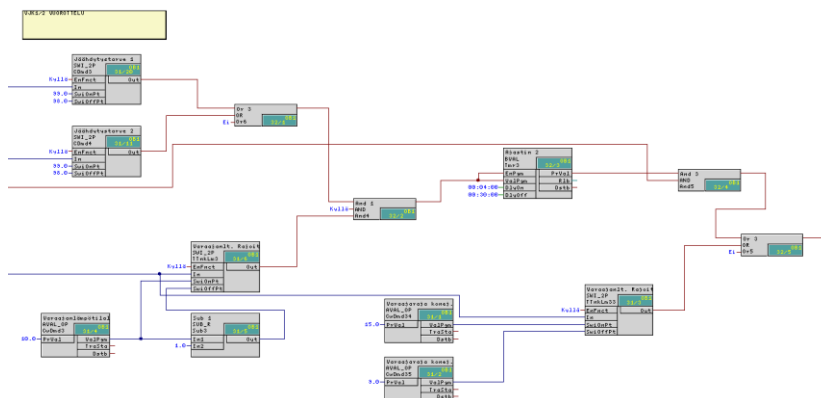
Aiemmat ehdot toimivat siis prioriteettiperusteisesti. Tästä on apua, kun luodaan jäähdytyksille eri käynnistysluvat. Rakennetaan siis käynnistysehdot aina pienemmästä prioriteetista suurempaan. Tällöin jos joku käynnin ehto ei täyty, hyppää järjestelmä korkeamman prioriteettiin tilaan. Ohjelmistoesityksessä ei ole vedenjäähdytyskoneiden yksittäiskäyntejä erikseen selitetty, sillä automaattiasennossa vapaajäähdytykseltä hypätään suoraan vedenjäähdytyskoneiden vuorotteluun, jos ulkolämpötila tai varaajan lämpötila ylittyy. Vedenjäähdytyskoneiden yksittäiset pakko-ohjaukset on ajateltu huolto- ja erityistapauksien ohjauksiin, kun normaalikäyttöä ei voida tai haluta käyttää. Vastaavasti vuorottelulta hypätään yhteiskäytölle, jos yhden vedenjäähdytyskoneen teho ei riitä pitämään varaajan lämpötilaa tarpeeksi matalana.

Vapaajäähdytyksen käynnistykseen asetusarvo on muutettavissa valvomosta ja sille on ohjelmassa huomioitu 0,5 °C:n hystereesi. Tällöin turhalta käynnistykseen ramppaukselta vältytään ulkolämpötilan siirtymäaikana. Käynnistyskytkimen sisääntuloon tulee ulkolämpötilan mittausarvo, ja sen lähdöstä menee käynnistys päälle ja pois lämpötilan alittaessa asetellun asetusarvon kuvan 29. mukaisesti.



Kuva 29. Vapaajäähdytyksen käynnistysehdot.

Vedenjäähdytyskoneiden vuorottelussa kuvan 30. mukaisesti vuorossa oleva vedenjäähdytyskone menee päälle vapaajäähdytykseltä, jos (kuvassa 30. oikealla ylhäällä) lauhdutuspuhaltimet käyvät täysillä ja varaajan lämpötila on noussut yli +10 °C:n. Tällaisessa siirtymävaiheen tilanteessa vedenjäähdytyskoneet lähtevät päälle ja pysähtyvät asetelluilla viiveillä ehtojen täyttyessä. Tämän lisäksi vedenjäähdytyskone saa myös suoraan käynnistyslavan varaajan lämpötilan noustessa yli asetellun +15 °C:n ilman minkäänlaisia aikarajoituksia. Asetusarvot ja lämpötilat ovat muutettavissa valvomosta, ja hyvin todennäköisesti näitä joudutaan eri kohteissa muokkaamaan sopiviksi.

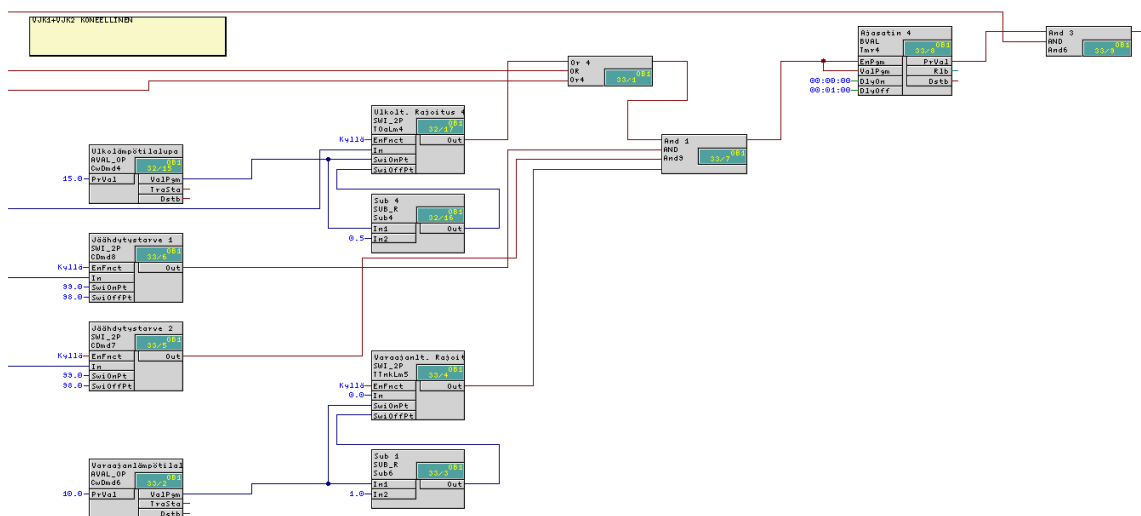


Kuva 30. Vedenjäähdytyskoneiden vuorottelun käynnistysehdot

Yhteiskäytölle on ohjelmaan luotu muutama ehto poiketen yhden jäähdytyskoneen käytöstä. Kuvan 31. yhteiskäytölle tarvitaan tilanne, jossa useampi ehto täyttyy. Tilanteessa jossa

- Varaajan lämpötila on ylittänyt asetellun asetusarvon.
- Lauhdutuspuhaltimien säätö on ajanut puhaltimet täysille yrittäessään tuoda katolta viilennettyä lauhdutettua liuosta jäähdytyskoneelle.
- Kesäajan ulkolämpötilalupa on ylittynyt eli ajateltu kesäkäynnin tehostuslupa on päällä
- Tai tilanne missä jompikumpi jäähdytyskoneista on hälytyksessä.

Yllä olevien ehtojen toteutuessa ohjelma käynnistää toisen koneen rinnalla heti ja sammuttaa ehtojen poistuessa toisen koneen tunnin viiveellä.



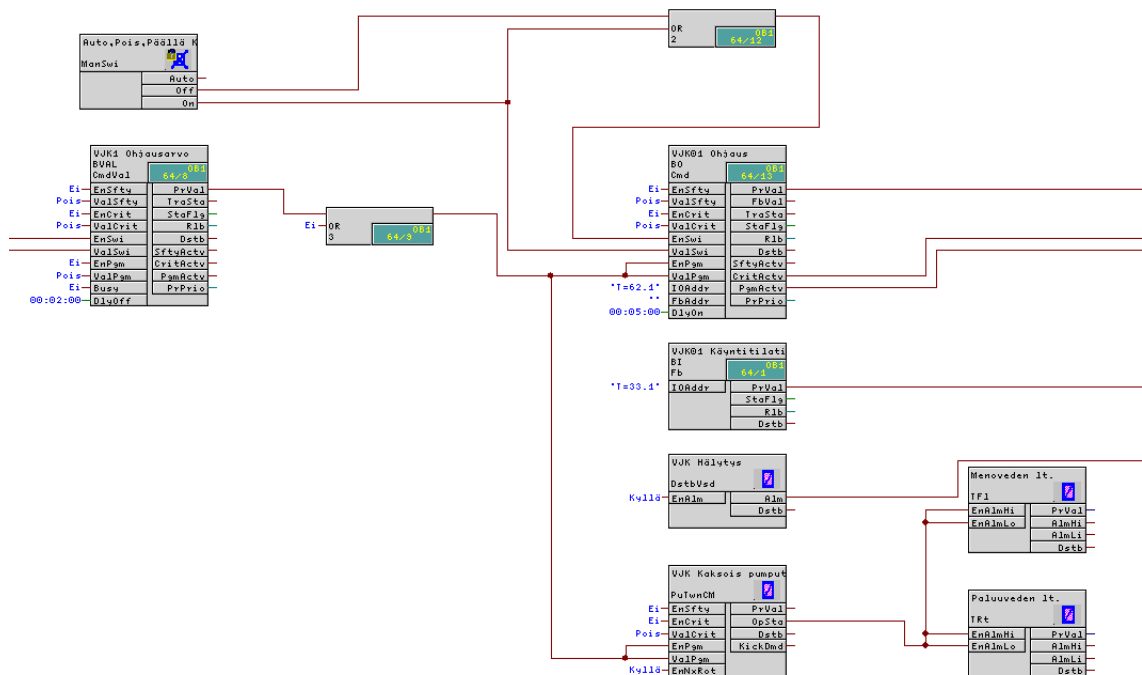
Kuva 31. Vedenjäähdytyskoneiden yhteiskäyttö

Näillä käyntilupaehdoilla ja käynnistystoiminnoilla saadaan kohtalaisen helposti hallintoa eri käyntitiloja kylmälaitokselle ja ulkolämpötilan siirtymäaikana varaajan lämpötilan nousussa käytetään jäähdytyskoneita aina tarpeen tullen tehostamaan vapaajäähdytystä. Lopuksi ulkolämpötilan noustessa ja vapaajäähdytyksen tehon laskiessa kone siirtyy automaattisesti koneelliselle jäähdytykselle ja kesäkuuman huippuina ottaa toisen koneen rinnalle.

Jäähdytyskoneiden käynnille on monesti suunnitelmissa hyvin paljon eroavia käyntilupa- ja vuorottelu-ehdot, koska suunnittelijat hyvin usein soveltavat omaa tietämystään ja omia tottumuksiaan eri kylmälaitoksien toimintaan. Näiden pohjalta on kuitenkin melko helppoa muokata käynnistyskäskyt suunnittelijan toivomusten mukaan.

6.4 Vedenjäähdytyskoneiden liitännät

Vedenjäähdytyskoneiden ohjauksien taakse on lisätty vedenjäähdytyskoneen toimintaan sidotut laitteet. Kuvan 32. vedenjäähdytyskoneen piiriin kuuluu jäähdytysverkoston pumppu tai kaksoispumput, pumppujen painesäädöt, verkoston meno- ja paluuveden lämpötilat ja itse vedenjäähdytyskoneen ohjaus, tilatieto ja yhteishälytys.



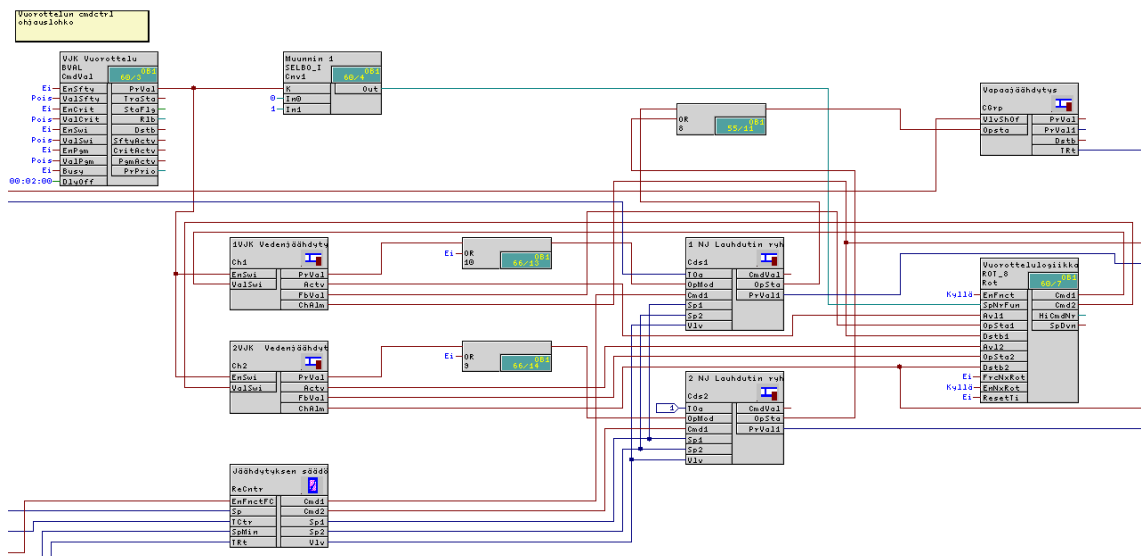
Kuva 32. Vedenjäähdytyskone lohkon toiminta.

Vedenjäähdytyskone saa ohjauskäskynsä aiemmin läpikäydyltä käynnistyslohkolta yllä käytyjen lupaehtojen ja prioriteettien salliessa. Jäähdytyskoneen käsikäytön kytkin voidaan halutessa nostaa valvomoon, mistä konetta voidaan pakottaa päälle tarvittaessa käynnistyslohkosta ja -ehdoista piittaamatta. Lämpötilojen hälytyksien aktivoinnit menevät päälle samalla, kun jäähdytysverkoston kaksoispumput menevät päälle. Kak-

soispumppulohkon alla on vielä omat painesäädöt ja asetukset, hälytyksineen ja vuorotteluineen, mutta lohkon periaate on hyvin pitkälle sama kuin jäähdytyskoneiden vuorottelun, joka käydään jäähdytyskoneiden vuorotteluosiossa läpi. Vedenjäähdytyskoneiden ohjelmat eivät eroa toisistaan muuta kuin lohkojen nimien osalta.

6.5 Vedenjäähdytyskoneiden vuorottelu

Vedenjäähdytyskoneiden vuorottelu poikkeaa hieman muista ohjelmalohkoista, sillä vuorottelun logiikkaa ei voi suoraan toteuttaa aiemman käynnistyslohkon avulla. Jos käynnistyslohkon sijaan olisi käytetty kaikki ohjaukset suoraan lohkoille, olisi kuvan 33. kaltainen ohjausnarujen käyttö tarvittu moninkertaisena.



Kuva 33. Vedenjäähdytyskoneiden vuorottelun logiikka

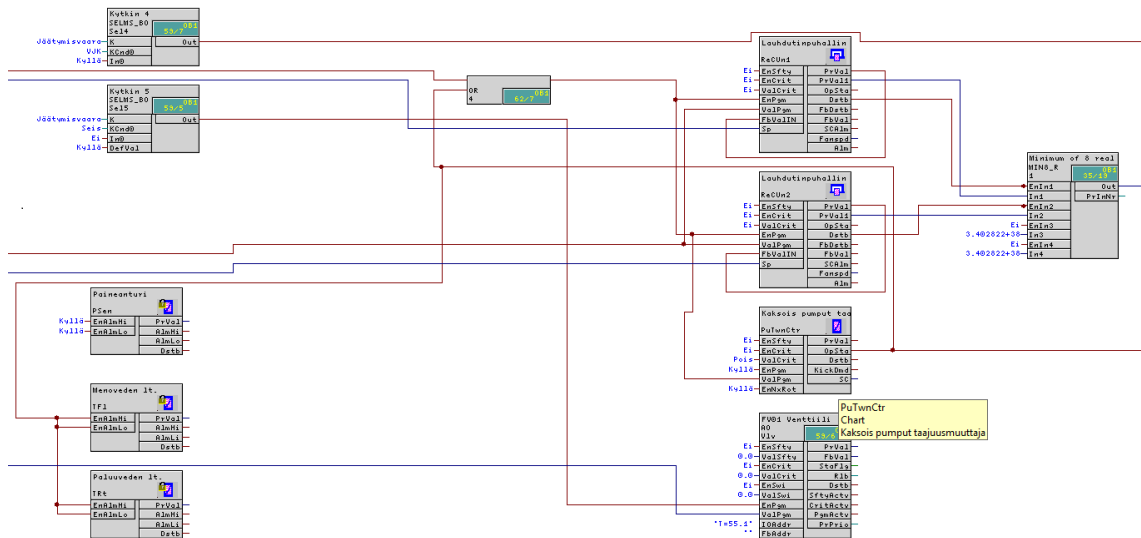
Vuorottelun käyntiluvulle antaa luvan (kuvassa 33. oikealla ylhäällä) vuorottelun käynnistysapulohko, joka antaa samalla itse vuorottelua hoitavalle (kuvassa 33. oikealla) kierrätyslohkolle käskyn mennä päälle. Kierrätyslohkon sisälle rakennettu vuorottelu-logiikka vuorottelee valitun tavan ja vuorottelu-aikojen perusteella vedenjäähdytyskoneiden käyntiä. Vuorottelulohkossa on valittavissa eri tapoja vuorottelulle. Valittavana on aikaperusteinen, aika- ja päällekkäiskäyntiperusteinen, aika- ja pysäytystaukoperusteinen, koneiden kierrätys ensimmäisestä viimeiseen tai koneiden kierrätys viimeisestä ensimmäiseen ja kierrätykset aseteltavalla päällekkäin käynnillä tai kierrätys käyntien välisillä katkoilla. Lohkoon on liitettävissä yhdestä kahdeksaan eri laitetta, joita lohko

vuorottelee. Tässä vedenjäähdytyskoneiden tapauksessa valittiin 168 tunnin vuorotteluperiodi ja 20 minuutin päällekkäinen käyntiaika. Vuorottelulohko tarvitsee ohjauskäskyn lisäksi tilatiedot ja hälytykset ohjattavilta laitteilta. Niiden avulla se osaa tarpeen mukaan reagoida vikatiloihin ja käynnistää seuraavan vuorossa olevan laitteen. Tarvittaessa voitaisiin lohkolle säätää myös kerralla käynnissä olevien laitteiden lukumäärää. Esimerkiksi neljän jäähdytyskoneen tapauksessa voitaisiin määrätä aina haluttu määrä jäähdytyskoneita kerralla päälle. Ohjelman avulla pystyy helposti toteuttamaan oppivia logiikoita, jotka pyrkivät hakemaan kulloiseenkin ulkoilmaan riittävän määrän pienempiä jäähdytyskoneita päälle eri ulkolämpötilojen aikoina. Ihan vain lisäämällä vuorossa olevien laitteiden määrää, jos varaajan lämpötila nousee liikaa asetellun ajan sisällä ja vastaavasti vähentää, jos lämpötila pysyy asetusarvossa tarpeeksi pitkään.

Sovelluksessa laaditaan kummallekin vedenjäähdytyskoneelle omat lauhdutinpuhaltimet ja lauhdutinpiirit, mutta yhteinen vapaajäähdytysvaihdin ja yhteinen varaajasäiliö. Kumpikin vedenjäähdytyskone käynnistyessään käynnistää myös vastaavan lauhdutinryhmän tai vaihtoehtoisesti lauhdutinpiirin ollessa yhdistetty käynnistyvät lauhduttimet lauhdutinverkoston pyynnin mukaan ja ajavat nestelauhdutinpaketteja säätimeltä tarpeen mukaan päälle käynnistysportaissa. Kylmälaitoksia voidaan toteuttaa monella eri tavalla ja työssä pyrittiin luomaan mahdollisimman kattava järjestelmä, josta on helppo poistaa osia tarpeen mukaan.

6.6 Lauhduttimet

Nestelauhduttimiin kuva 34. kohdistuu työssä eniten säätöön vaikuttavia komponentteja ja osia, koska rakennusautomaation tehtäväksi jää yleensä lauhduttimien puhaltimien, 3-tieohitusventtiilin, vapaajäähdytyksen ja vedenjäähdytyskoneen ohitus venttiilin sekä lauhdeverkoston painesäätöisten pumppujen säädöt ja ohjaukset.



Kuva 35. Nestelauhduttimien komponentit ja ohjauslogiikka.

Lauhdutinpöirien kaksoispumpuissa on vedenjäähdytyskoneesta tuttu vuorottelu ja aluksi käyty perinteinen vakiopainesäätö, josta saadaan kaksoispumpuille tuleva säätöviesti, jonka mukaan ne ajavat verkostoon asetettua vakiopainetta pyrkien pitämään verkoston paineen asetusarvossa. Pumpuille ja puhaltimille on valvomosta säädettävissä tarpeen mukaan miniminopeudet, ja niistä on saatavissa normaalit ristiriita- ja hälytystiedot.

6.7 Vapaajäähdytyksen liitännät

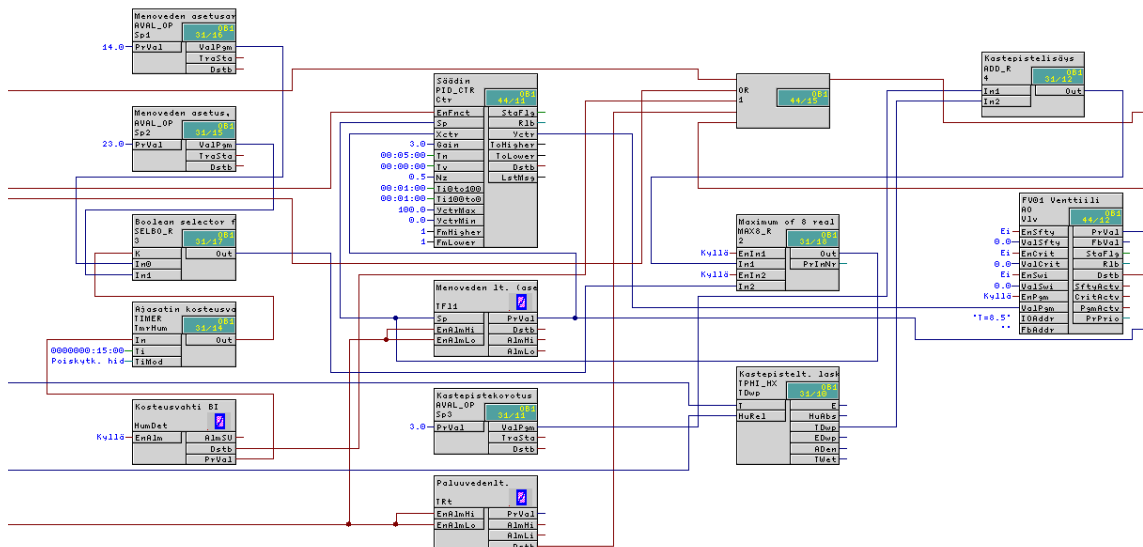
Vapaajäähdytyksessä järjestelmä ohjelmoidussa tapauksessa käyttää samoja nestelauhduttimia kuin koneellisella jäähdytyksellä. Poikkeuksena on verkoston menoveden asetusarvo, joka vapaajäähdytyksessä lasketaan aseteltuun +10 °C:n lämpötilaan. Tämän lisäksi ohjelma sulkee ohituksen 2-tieventtiilillä vedenjäähdytyskoneen piirin ja lauhdutinpiirin pumput alkavat kierrättää lauhdepiirin vesi-glykoliliuosta ulkoyksiköiltä vapaajäähdytyspatterille. Tällainen yksikkö on rakennetulla ohjelmistosovelluksella helppo liittää myös tilanteessa, jossa vapaajäähdytysvaihtimella on omat lauhdutinpuhaltimet. Tällöin voidaan koneita käyttää tehokkaammin siirtymäkausina loppukevät ja -syksy, kun voidaan jäähdyttää vapaajäähdytyksellä ja koneellisella tarpeen tullen samaan aikaan.

6.8 Kaukokylmän liitännät

Kaukokylmä voitaisiin toteuttaa samalla periaatteella ja samoilla toiminnoilla, kun vapaajäähdytyksen vaihdin. Tarvitaan vain jäähdytysverkoston pumput kierrättämään vapaajäähdytysvaihtimelta saatua kylmää talon verkostossa, vapaajäähdytysvaihtimen kaukokylmän puolelle vastaava venttiilisäätö kuin vapaajäähdytykselle. Kaukokylmän tapauksessa tämä pyrkisi pitämään jäähdytysverkoston toisiopuolen menolämpötilan $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa ja paluulämpötilan $+18\text{ }^{\circ}\text{C}$:ssa. Vastaavasti kaukokylmän vaihtimelle tulee kaukokylmä verkostosta ensiöpuolelle $+7\ldots 10\text{ }^{\circ}\text{C}$:n ja lähtee takaisin kaukokylmälaitokselle $+15\ldots 18\text{ }^{\circ}\text{C}$:n lämpöistä nestettä.

6.9 Jäähdytysverkostojen liitännät

Jäähdytysverkostot voitiin kopioida yhden pohjalta kaikkiin kolmeen rakennettuun verkostoon, koska verkostoissa eivät muuttuneet, kuin asetellut lämpötilat. IV-verkostoille tehty sovellus ja konvektoriverkostoille tehty sovellus ei eroa toisistaan tai alla olevasta palkkiverkon sovelluksesta muuta kuin asetusarvojen osalta. Kuvan 36. palkkiverkossa jouduttiin kuitenkin huomioimaan hieman lisää asioita, ja tämän takia se käydään läpi tarkemmin.



Kuva 36. Palkkiverkoston ohjelmalohkot.

Jäähdytysverkostojen osalta palkkiverkoston ohjelma lohko on kaikkein mielenkiintoisin, koska palkkiverkostossa on otettava huomioon kesäaikainen kondenssi-ilmiö ja kastepisteen laskenta. Palkkiverkostolle on olemassa oma sunttikierto, jota ohjataan omalla 3-tieventtiilillä. Sen avulla pyritään pitämään palkkiverkoston lämpötila aina muita verkostoja lämpimämpänä kierrättämällä takaisin palkeilta lämmennyttä vettä siinä suhteessa, että palkkiverkostolle menee aina noin $+14\text{ °C}$:n vettä. Kosteusvahdin havaitessa tai hälyttäessä muutetaan palkkiverkoston menoveden asetusta hetkellisesti korkeammaksi. Tällä pyritään poistamaan kosteutta pikaisesti. Palkkiverkoston menoveden asetusarvoon lasketaan kuvan mukainen $+3\text{ °C}$:n korotus silloin, kun huoneiden kosteusantureista saaduista arvoista joku nousee yli asetellun 50 %:n suhteellisen kosteuden. Palkkiverkoston pumpput ja samalla säätö käynnistyy vastaavasti silloin, kun palkkiverkostossa ilmenee jäähdytyspyyntiä.

7 Päätelmä

Tämän opinnäytetyön perimmäisenä tarkoituksena oli rakentaa kiinteistön jäähdytysjärjestelmien ja kylmäasemien rakennusautomaatioliitännöille helposti muokattava ja eri jäähdytysjärjestelmiin soveltuva ohjelmistopohja, jolla voidaan jatkossa nopeuttaa niiden käyttöönottoa. Ohjelmisto rakennettiin Siemensin Xworks Plus- ohjelmiston CFC-editorilla. Tehtyä ohjelmistoa käytetään Siemensin Desigo Insight- rakennusautomaatiojärjestelmässä. Ohjelman aikana jouduttiin tekemään kompromisseja eri käynnistys-ehdoille, koska kylmäasemien apulaitteiden määrä, niiden toteutuksien eroavaisuus ja vuorottelukäytännöt vaihtelevat eri laitoksissa ja ympäristöissä paljon. Kylmäasemien osalta ohjelmassa huomioitiin useamman kompressorin yhteistoiminnat ja pääpainona pidettiin hyvin yleisen vapaajäähdytyksellä varustetun liuoslauhduttimilla varustetun vedenjäähdytyskoneen toimintaa. Jäähdytysverkostojen osalta ohjelmistoon luotiin ilmastointikoneille, jäähdytyspalkeille ja konvektoreille omat verkostot ja näissä huomiointiin tarvittaessa kastepistelaskennat ja korotukset.

Ohjelmiston käyttöönottoa sopivassa kylmälaitoksessa ei tämän opinnäytetyön aikana vielä keretty suorittaa, koska sopivaa yhtä kattavaa järjestelmää ei tähän ajanjaksoon kohdalleni sattunut. Ohjelma rakennettiin mahdollisimman laajan kylmälaitoksen ja siihen liitettyjen jäähdytysverkostojen kannalta, ja tällöin sitä pystyy hyödyntämään helposti myös pienemmän mittakaavan laitoksiin. Ennen ohjelmiston tekemistä selvitettiin, mitä kiinteistön jäähdytyksellä tarkoitetaan ja mistä kaikesta se koostuu.

Jäähdytysjärjestelmien ja rakennuksen jäähdytystapojen tutkinta osoittautui erittäin laajaksi, ja aihealueeseen vaikuttaa todella paljon rakennusteknisiä ja jäähdytysteknisiä piirteitä. Sisäilmaston käsitteet ja määräykset, sekä tuntuva ja latentin lämpökuorman ero käytiin periaatteiltaan läpi. Jäähdytysenergian kulutuksista ja laitteiden kylmäker-toimista käytiin yksinkertaisen laskukaavan mukaisia periaatteita läpi. Työssä huomioitiin myös jäähdytysenergian kannalta tärkeitä ilmaisia jäähdytysenergian lähteitä ja hyödyntämistapoja, kuten yöjäähdytys ja vapaajäähdytys ilmalla tai maaputkistolla.

Jäähdytyksen ja sisäilmaston kannalta aihepiirin järjestelmistä työssä käytiin läpi ilma-virtaiset ja vesivirtaiset järjestelmät. Ilmavirtaisista järjestelmistä työssä huomioitiin va-kioilmavirtasääteiset CAV-järjestelmät ja muuttuvailmavirtasääteiset VAV-järjestelmät. Vesivirtaisista järjestelmistä työssä käytiin läpi yleisimmät eli ilmastointikoneiden jäähdytyspatterit, aktiiviset ja passiiviset huonepalkit, sekä konvektorit ja näiden yhdistelmä-laitteet. Näihin on myös vahvasti sidoksissa ilmankosteudesta johtuva kondenssi-ilmiö, jonka huomioiminen on eri sovelluksissa tärkeää. Konvektoreiden ja tuloilmakoneiden jäähdytyspattereiden käyttöä myös märkäjäähdytykseen ja kosteudenpoistoon voi pitää suurimpana kosteuden kannalta merkittävänä tekijänä. Kosteuden kannalta vastaavasti huonepalkeissa pitää huomioida kastepistekorotukset loppukesän kosteina aikoina.

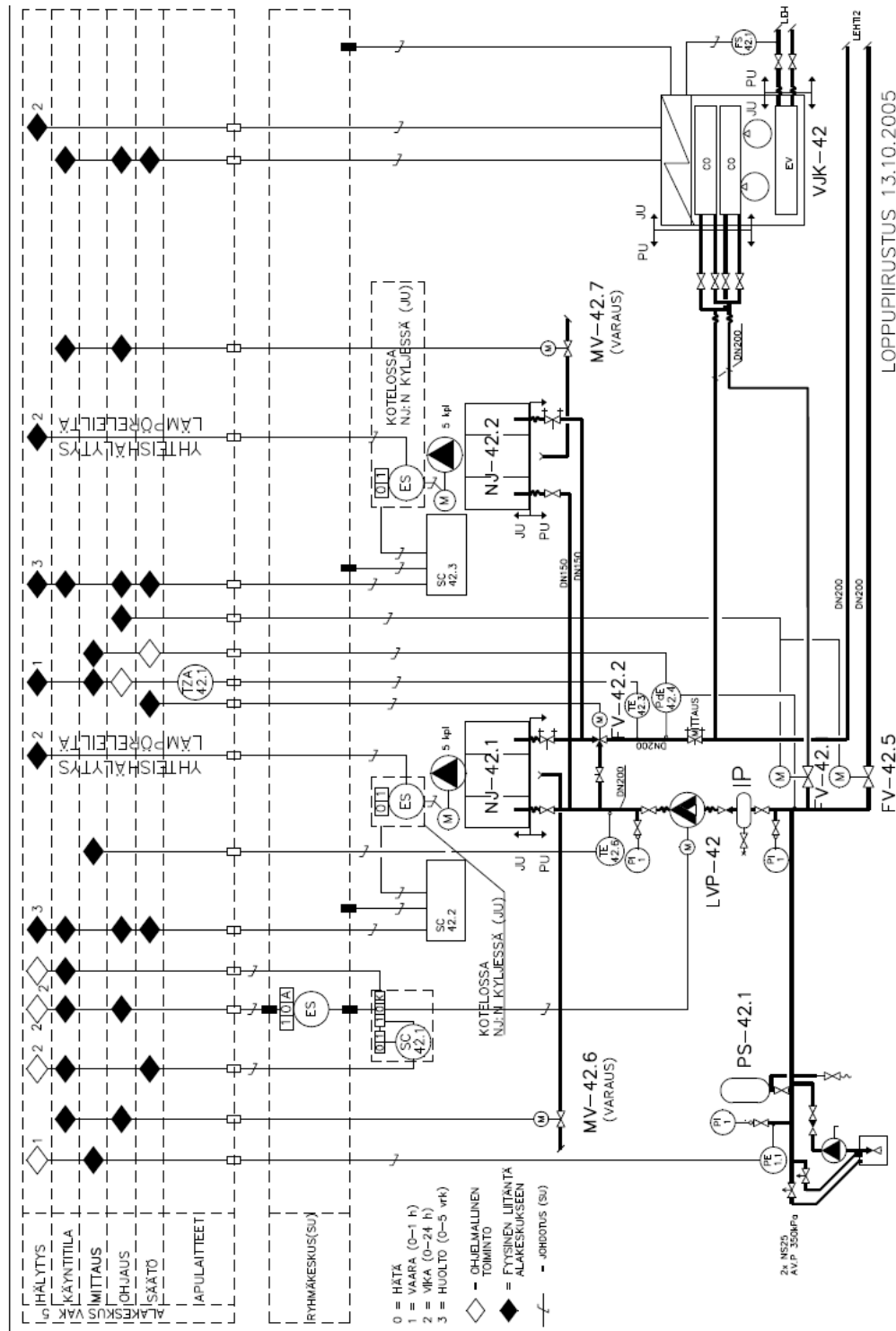
Kylmälaitoksien toiminta ja niiden prosessien optimointi ja syvällisempi ymmärrys tulee vaatimaan vielä paljon käytännön pohdintaa työelämässä. Tämän työn aikana tuli selväksi käytössä olevien rakennusten jäähdytyslaitteiden prosessit, ominaisuudet, tar-peellisuus ja käyttötarkoitukset. Jäähdytys- ja kylmäalan tietoutta on hyvä kasvattaa rakennusautomaatioalalla jatkossa, kun on perusta, minkä päälle ymmärrystä rakentaa.

Lähteet

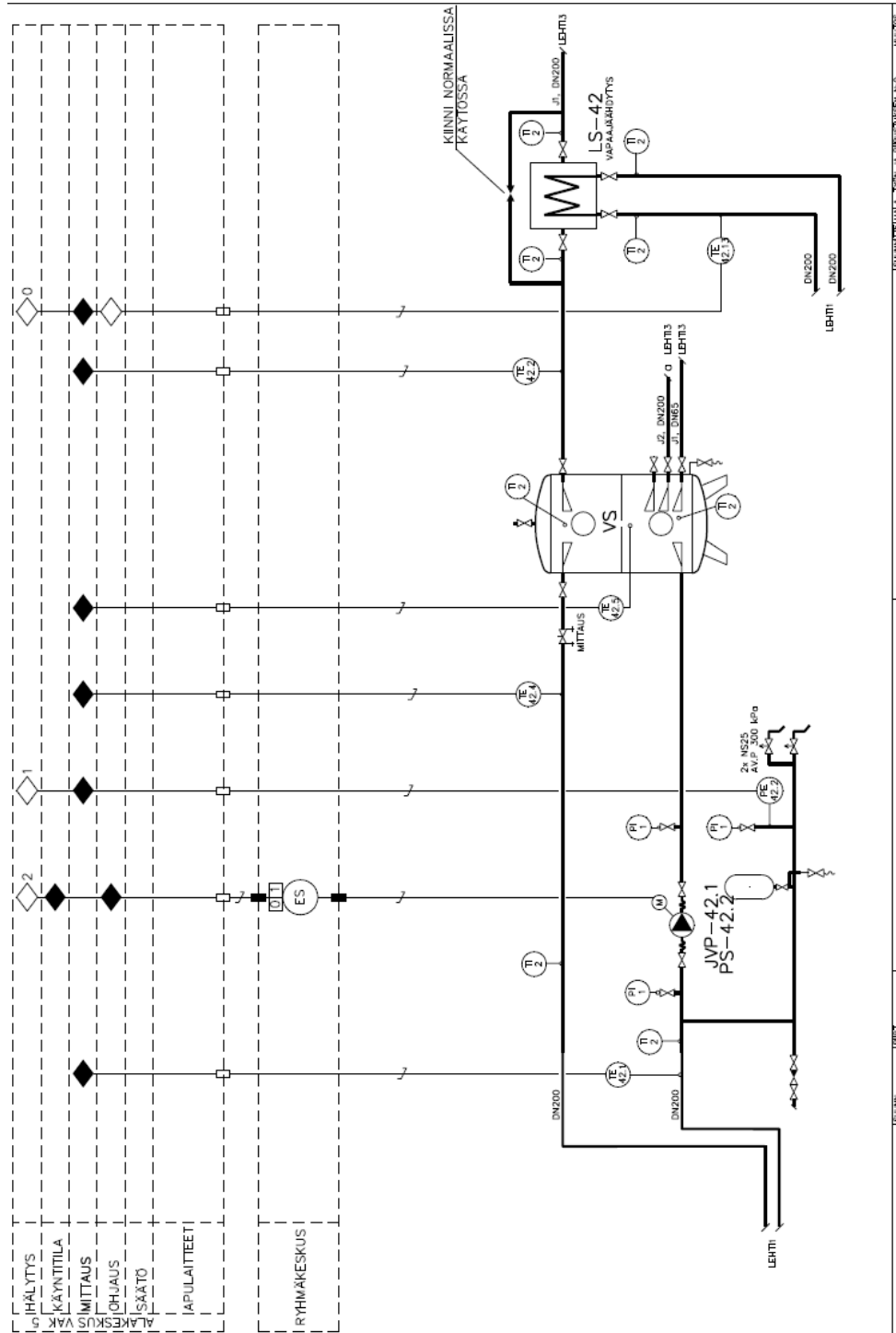
1. Sandberg E. (toim.). 2014. Sisäilmasto ja ilmastointijärjestelmät. Ilmastointiteknikka osa 1. Tampere: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
2. Swegon vesikiertoiset ilmastointijärjestelmät. 2007. Verkkodokumentti.
http://www.swegon.com/Global/PDFs/Waterborne%20climate%20systems/General/_fi/SYSTEM-tech.pdf. Luettu 10.1.2016.
3. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Osa D5: Rakennuksen energiakulutuksen ja lämmitystehontarpeen laskenta ohjeet. 2012. Verkkodokumentti.
http://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/D5_2012.pdf. Luettu 25.2.2016.
4. Sandberg E. (toim.). 2014. Ilmastointilaitoksen mitoitus. Ilmastointiteknikka osa 2. Tampere: Talotekniikka-Julkaisut Oy.
5. RT 07-10946 Sisäilmastoluokitus 2008: Sisäympäristön tavoitearvot, suunnitteluohteet ja tuotevaatimukset. Rakennustietosäätiö RTS. 2009.
6. Aittomäki A. (toim.) 2012. Kylmätekniikka, 4. Porvoo: Suomen Kylmäyhdistys Ry.
7. Jäähdytysjärjestelmän energialaskentaopas. 2011. Verkkodokumentti.
<http://www.ym.fi/download/noname/%7BB9D6D2F2-A816-4ECF-BE33-B8D56869253D%7D/30752>. Luettu 10.1.2016
8. R404A kylmäaineen log p,h piirros. Verkkodokumentti.
<http://eng.harran.edu.tr/~hbulut/R404A.pdf>. Luettu 1.3.2016.
9. Hakala Pertti & Kaappola, Esko. 2013. Kylmälaitoksen suunnittelu. Opetushallitus.
10. Danfoss kylmäsovellusten Scroll-kompressorit. Verkkodokumentti.
http://www.danfoss.com/NR/rdonlyres/D42A573B-D423-42A4-B366-9B9EF12272C8/0/scroll_textFIN.pdf. Luettu 6.3.2016
11. Carrier Oy. Vesilauhdutteiset kompressorikone tuote tiedot. Verkkodokumentti.
<http://www.carrier.fi/index.php/vedenjaahdyttimet-lampopumput-ja-lampokoneet/vesilauhdutteiset-koneet>. Luettu 19.3.2016
12. Carrier Oy. Nestelauhdutin tuotetiedot. Verkkodokumentti.
<http://www.carrier.fi/index.php/nestejaahdyttimet-ja-lauhduttimet>. Luettu 19.3.2016.
13. Onninen Oy, Vapaajäähdytyksen suunnittelijan käsikirja. Verkkodokumentti.
www.vapaajäähdytys.fi/ladattavat/onninen_suunnittelijan_net.pdf. Luettu 18.2.2016.

14. Suomen rakentamismääräyskokoelma, Osa D2: Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto määräykset ja ohjeet. 2010. Verkkodokumentti.
http://www.edilex.fi/data/rakentamismaaraykset/d2_2012.pdf. Luettu 6.3.2016.
15. Markus Laine. Ilmastoinnin vesikiertoisien jäähdytysjärjestelmän optimointi. Tampereen Teknillinen Yliopisto. 2016. Luettu 1.2.2016
16. Carrier Oy. konvektoreiden tuote tiedot. Verkkodokumentti.
<http://www.carrier.fi/index.php/puhallinpatterikojeet>. Luettu 19.3.2016
17. Siemens Oy. Rakennusautomaation verkkotopologia. Verkkodokumentti.
<http://www.buildingtechnologies.siemens.com/bt/global/en/buildingautomation-hvac/building-automation/building-automation-and-control-system-europe-designo/system/topologies/small-to-extensive-systems/Pages/from-small-to-complex-system-topologies.aspx>. Luettu 10.3.2016

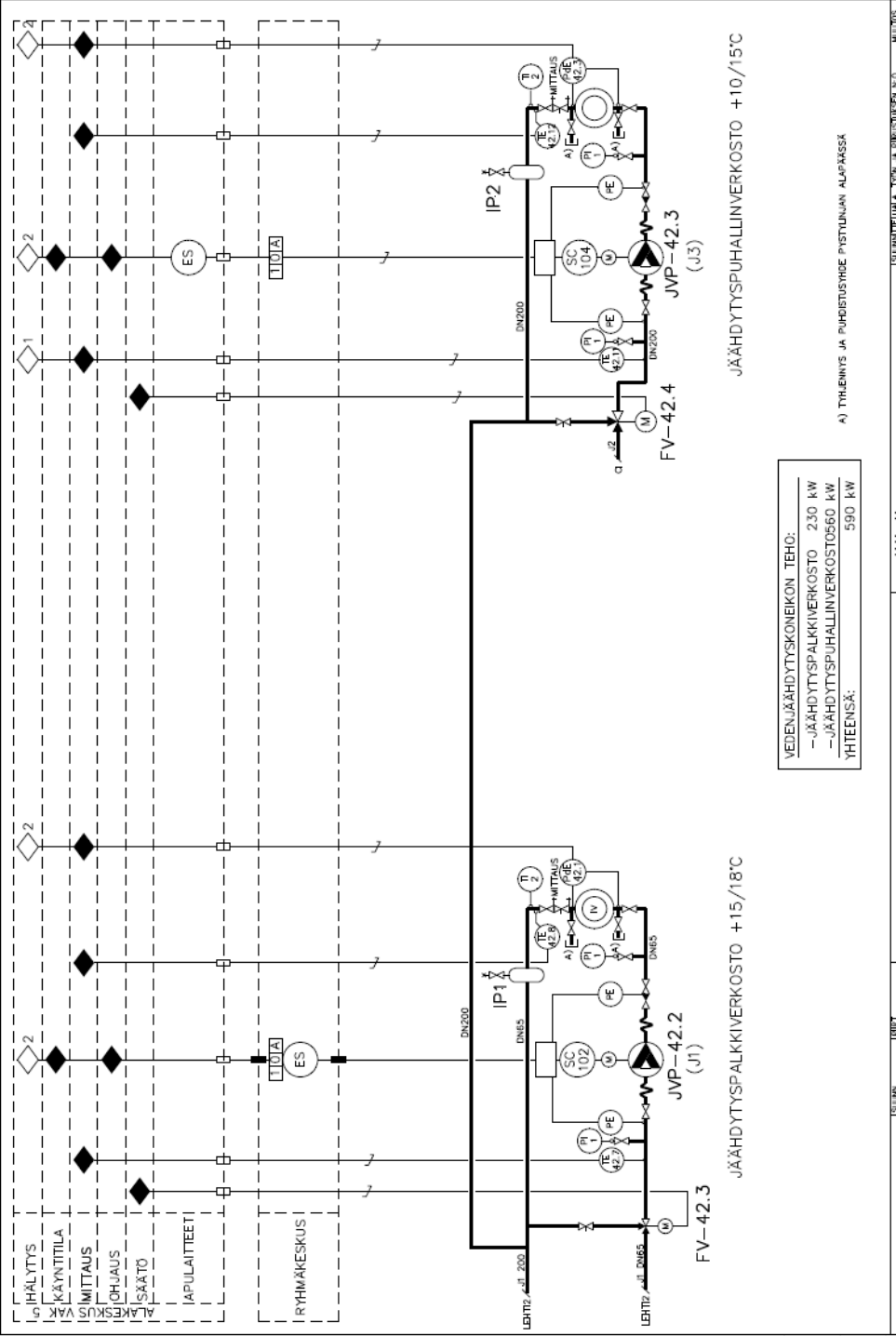
Vedenjäähdytyskoneen säätökaaviot 1 / 5



Vedenjähdytyskoneen säätökaaviot 2 / 5



Vedenjäähdytyskoneen säätökaaviot 3 / 5



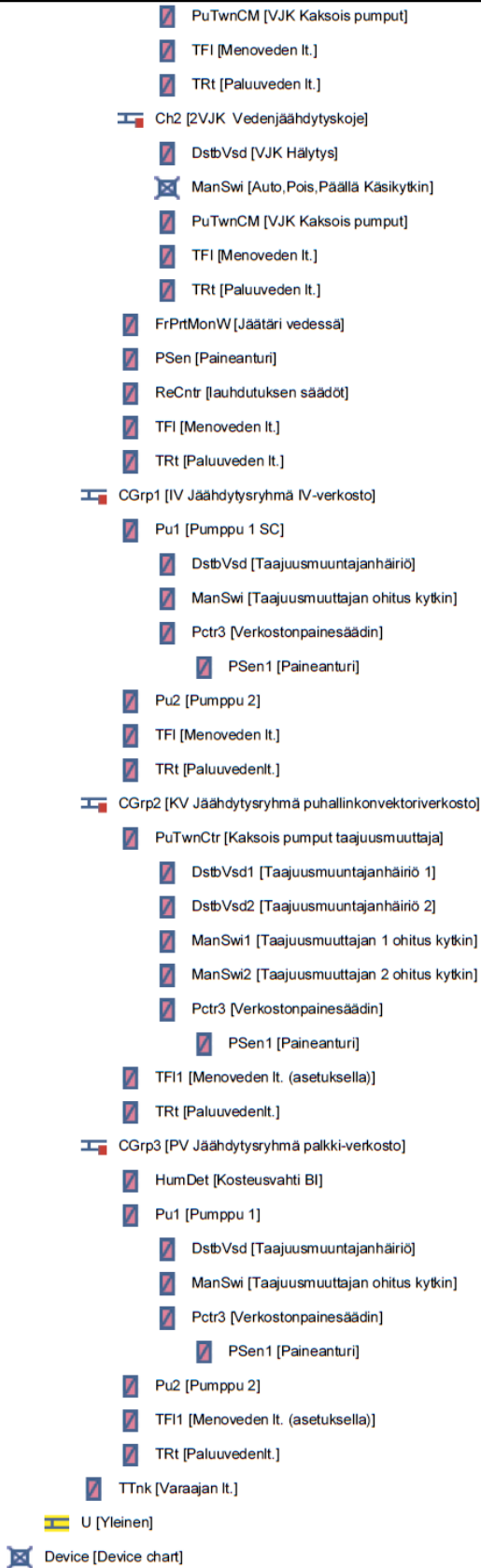
Vedenjäähdytyskoneen säätökaaviot 5 / 5

LAITE- TUNNUS	NIMITYS	TEKNISET TIEDOT ASETUSARVOT	TOIMI	HÄLYTYS			RAJOITUS	
				ALARAJA	YLÄRAJA	MIVE	ALARAJA	YLÄRAJA
LS-42	LÄMMÖNSIIRIN (AISI 304)	590 kW Ensiö: vesi +15/10°C 28,1 dm ³ /s; dp=10 kPa; Toliso: glykoli 30% +9/+14°C 35,6 dm ³ /s, dp=15 kPa	PU					
FV-42.1	MOOTTORIVENTTILI	VIRTAAMA 35,6 l/s PAINE-ERO 5 kPa	AU					
FV-42.2	MOOTTORIVENTTILI	VIRTAAMA 35,6 l/s PAINE-ERO 20 kPa	AU					
FV-42.3	MOOTTORIVENTTILI	VIRTAAMA 2,38 l/s PAINE-ERO 20 kPa	AU					
FV-42.4	MOOTTORIVENTTILI	VIRTAAMA 26,7 l/s PAINE-ERO 20 kPa	AU					
FV-42.5	MOOTTORIVENTTILI	VIRTAAMA 35,6 l/s PAINE-ERO 5 kPa	AU					
SC-42.1	KIERROSNOPEUDEN SÄÄDIN	PORTAATON	AU					
SC-42.2	KIERROSNOPEUDEN SÄÄDIN	PORTAATON	JU					
SC-42.3	KIERROSNOPEUDEN SÄÄDIN	PORTAATON	JU					
PS-42.1	PAISUNTA-ASTIA	150 dm ³ , esipaine 150 kPa	PU					
PS-42.2	PAISUNTA-ASTIA	300 dm ³ , esipaine 150 kPa	PU					
VS	VÄLISÄILIÖ	4000 dm ³ , Np4	PU					
FS-42.1	VIRTAUSKYTKIN		JU					
TE-42.1	LÄMPÖTILA-ANTURI	PUTKEEN	AU					
TE-42.10	LÄMPÖTILA-ANTURI	PUTKEEN	AU					
TE-42.11	LÄMPÖTILA-ANTURI	PUTKEEN	AU					
TE-42.12	LÄMPÖTILA-ANTURI	PUTKEEN	AU					
TE-42.13	LÄMPÖTILA-ANTURI	PUTKEEN	AU					
TE-42.2	LÄMPÖTILA-ANTURI	PUTKEEN	AU					
TE-42.3	LÄMPÖTILA-ANTURI	PUTKEEN	AU					
TE-42.4	LÄMPÖTILA-ANTURI	PUTKEEN	AU					
TE-42.5	LÄMPÖTILA-ANTURI	PUTKEEN	AU					
TE-42.6	LÄMPÖTILA-ANTURI	PUTKEEN	AU					
TE-42.7	LÄMPÖTILA-ANTURI	PUTKEEN	AU					
TE-42.8	LÄMPÖTILA-ANTURI	PUTKEEN	AU					
TE-42.9	LÄMPÖTILA-ANTURI	PUTKEEN	AU					
PE-42.1	PAINANTURI	0...600 kPa	AU					
PE-42.2	PAINANTURI	0...600 kPa	AU					
PdE-42.1	PAINE-EROLAHETIN	0...200 kPa	AU					
PdE-42.2	PAINE-EROLAHETIN	0...200 kPa	AU					
PdE-42.3	PAINE-EROLAHETIN	0...200 kPa	AU					
PdE-42.4	PAINE-EROLAHETIN	0...200 kPa	AU					
PI-1	PAINEMITTARI		AU					
TI-1	LÄMPÖMITTARI		PU					
IP1	ILMAN- JA LIIANPOISTIN	AIRVEC EXTRA DN65	PU					
IP2	ILMAN- JA LIIANPOISTIN	AIRVEC EXTRA DN150	PU					
IP	ILMAN- JA LIIANPOISTIN		PU					

Järjestelmän hierarkia 1 / 2



Järjestelmän hierarkia 2 / 2



Järjestelmän I/O pistelistat 1 / 4

SIEMENS

Solution Partner

Building Technologies

SIEMENS

Building Automation

Solution Partner Building Technologies

Data points(sorted by I/O channel)

Project: Opinnäytetyö Metropolia

Plant Room: Not Defined

Panel: Not Defined

Automation Station: AS01 (PXC100-E.D) VAK01

TXM1.FBUS/TX Modules

Address	Object name	Description	Field Device	Signal Type	Terminal	Device Type
Module Address	1	I/O Module Type	TXM1.8U			
1.1	B'C'CdsCmdCh1TRITSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1V/K Vedenjäähdytyskoje.Paluuveden lt.TE Mittausarvo		R1K	7,2,4	
1.2	B'C'CdsCmdCh1TRITSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1V/K Vedenjäähdytyskoje.Menoveden lt.TE Mittausarvo		R1K	7,6,8	
1.3	B'C'CdsCmdTRITSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.Menoveden lt.TE Mittausarvo		R1K	15,10,12	
1.4	B'C'CdsCmdTRITSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.Paluuveden lt.TE Mittausarvo		R1K	15,14,16	
1.5	B'C'CdsCmdCh2TRITSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2V/K Vedenjäähdytyskoje.Paluuveden lt.TE Mittausarvo		R1K	24,19,21	
1.6	B'C'CdsCmdCh2TRITSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2V/K Vedenjäähdytyskoje.Menoveden lt.TE Mittausarvo		R1K	24,23,25	
1.7	B'C'CdsCmdCds1TRITSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Menoveden lt.TE Mittausarvo		R1K	32,27,29	
1.8	B'C'CdsCmdCds2TRITSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.Menoveden lt.TE Mittausarvo		R1K	32,31,33	
Module Address	2	I/O Module Type	TXM1.8U			
2.1	B'C'CdsCmdCds1TRITSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Paluuveden lt.TE Mittausarvo		R1K	7,2,4	
2.2	B'C'CdsCmdCds2TRITSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.Paluuveden lt.TE Mittausarvo		R1K	7,6,8	

Project: Opinnäytetyö Metropolia

Data points(sorted by I/O channel)

2.3	B'C'CdsCmdCGpTRITSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.Vapaajäähdytys.Menoveden lt.TE Mittausarvo		R1K	15,10,12	
2.4	B'C'CGp1TRITSen	Building Jäähdytys.IV Jäähdytysryhmä IV-verkosto.Menoveden lt.TE Mittausarvo		R1K	15,14,16	
2.5	B'C'CGp1TRITSen	Building Jäähdytys.IV Jäähdytysryhmä IV-verkosto.Paluuveden lt.TE Mittausarvo		R1K	24,19,21	
2.6	B'C'CGp2TRITSen	Building Jäähdytys.KV Jäähdytysryhmä puhallinkonvektoriverkosto.Menoveden lt.(asetuksella).TE Mittausarvo		R1K	24,23,25	
2.7	B'C'CGp2TRITSen	Building Jäähdytys.KV Jäähdytysryhmä puhallinkonvektoriverkosto.Paluuveden lt.TE Mittausarvo		R1K	32,27,29	
2.8	B'C'CGp3TRITSen	Building Jäähdytys.PV Jäähdytysryhmä paikki-verkosto.Menoveden lt.(asetuksella).TE Mittausarvo		R1K	32,31,33	

Module Address	3	I/O Module Type	TXM1.8U			
3.1	B'C'CGp3TRITSen	Building Jäähdytys.PV Jäähdytysryhmä paikki-verkosto.Paluuveden lt.TE Mittausarvo		R1K	7,2,4	
3.2	B'C'TTrkTSen	Building Jäähdytys.Varaajan lt.TE Mittausarvo		R1K	7,6,8	
Module Address	4	I/O Module Type	TXM1.8U			
4.1	B'C'CdsCmdPSenPSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.Paineanturi.PDE Mittausarvo		U10	7,2,4	
4.2	B'C'CdsCmdCds1PSenPSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Paineanturi.PDE Mittausarvo		U10	7,6,8	
4.3	B'C'CdsCmdCds2PSenPSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.Paineanturi.PDE Mittausarvo		U10	15,10,12	
4.4	B'C'CdsCmdCGpPSenPSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.Vapaajäähdytys.Paineanturi.PDE Mittausarvo		U10	15,14,16	
4.5	B'C'CGp1Pu1Pctr3PSen1PSen	Building Jäähdytys.IV Jäähdytysryhmä IV-verkosto.Pumppu 1 SC.Verkostopainesäädin.Paineanturi.PDE Mittausarvo		U10	24,19,21	
4.6	B'C'CdsCmdCds1PuTwnCtrPctr3PSen1PSen	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.Verkostopainesäädin.Paineanturi.PDE Mittausarvo		U10	24,23,25	
4.7	B'C'CGp2PuTwnCtrPctr3PSen1PSen	Building Jäähdytys.KV Jäähdytysryhmä puhallinkonvektoriverkosto.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.Verkostopainesäädin.Paineanturi.PDE Mittausarvo		U10	32,27,29	

Järjestelmän I/O pistelistat 2 / 4

4.8	B'CCGp3Pu1Pctr3PSen1PSen	Building Jäähdytys,PV Jäähdytysryhmä palikki-verkosto.Pumppu 1 Verkonstopainesäädin.Painesenturi.PDE Mittausarvo	U10	32,31,33
Module Address	5	I/O Module Type	TXM1.16D	
5.1	B'CCdsCmdCh1Fb	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1V/JK Vedenjäähdytyskoje.VJK01 Käyttötilatieto	D20 Normally open	1,2
5.2	B'CCdsCmdCh1Detsb/sdDetsb	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1V/JK Vedenjäähdytyskoje.VJK Häilytys.VJK01 Häilytys	D20 Normally open	3,4
5.3	B'CCdsCmdFrPrttMoniWDetsb	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.Jäätän vedessä.TZ Häinä	D20 Normally open	5,6
5.4	B'CCdsCmdCds1ReCUn1ThOvrdSwi	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 1.Lämpösuoja.NJ01 Kytkin	D20 Normally open	7,8
5.5	B'CCdsCmdCds2ReCUn1ThOvrdSwi	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 1.Lämpösuoja.NJ01 Kytkin	D20 Normally open	9,10
5.6	B'CCdsCmdCds1ReCUn2ThOvrdSwi	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 2.Lämpösuoja.NJ02 Kytkin	D20 Normally open	11,12
5.7	B'CCdsCmdCds2ReCUn2ThOvrdSwi	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 2.Lämpösuoja.NJ02 Kytkin	D20 Normally open	13,14
5.8	B'CCdsCmdCh2Fb	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2V/JK Vedenjäähdytyskoje.VJK02 Käyttötilatieto	D20 Normally open	15,16
5.9	B'CCdsCmdCh2Detsb/sdDetsb	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2V/JK Vedenjäähdytyskoje.VJK Häilytys.VJK02 Häilytys	D20 Normally open	18,19
5.10	B'CCdsCmdCds1ReCUn1Detsb/sdDetsb/sd	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 1.Taajuusmuuttajanhäiriö.SC01 Taajuusmuuttajanhäiriö	D20 Normally open	20,21
5.11	B'CCdsCmdCds2ReCUn1Detsb/sdDetsb/sd	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 1.Taajuusmuuttajanhäiriö.SC01 Taajuusmuuttajanhäiriö	D20 Normally open	22,23
5.12	B'CCdsCmdCds1ReCUn2Detsb/sdDetsb/sd	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 2.Taajuusmuuttajanhäiriö.SC02 Taajuusmuuttajanhäiriö	D20 Normally open	24,25
5.13	B'CCdsCmdCds2ReCUn2Detsb/sdDetsb/sd	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 2.Taajuusmuuttajanhäiriö.SC02 Taajuusmuuttajanhäiriö	D20 Normally open	26,27
5.14	B'CCGp1Pu1Detsb/sdDetsb/sd	Building Jäähdytys.IV Jäähdytysryhmä IV-verkosto.Pumppu 1 SC.Taajuusmuuttajanhäiriö.SC01 Taajuusmuuttajanhäiriö	D20 Normally open	28,29
5.15	B'CCGp1Pu1CFbSC	Building Jäähdytys.IV Jäähdytysryhmä IV-verkosto.Pumppu 1 SC.SC01 Indikoiti	D20 Normally open	30,31
5.16	B'CCGp1Pu1ManSw/ManSwi	Building Jäähdytys.IV Jäähdytysryhmä IV-verkosto.Pumppu 1 SC.Taajuusmuuttajan ohitus kytkin.HS01 Käskytkin	D20 Normally open	32,33
Module Address	6	I/O Module Type	TXM1.16D	
6.1	B'CCdsCmdCds1PuTwnCtr/ManSwi1ManSwi	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.Taajuusmuuttajan 1 ohitus kytkin.HS01 Käskytkin	D20 Normally open	1,2
6.2	B'CCGp2PuTwnCtr/ManSwi1ManSwi	Building Jäähdytys.KV Jäähdytysryhmä puhallinkonvektoriverkosto.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.Taajuusmuuttajan 1 ohitus kytkin.HS01 Käskytkin	D20 Normally open	3,4
6.3	B'CCdsCmdCds1PuTwnCtr/ManSwi2ManSwi	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.Taajuusmuuttajan 2 ohitus kytkin.HS02 Käskytkin	D20 Normally open	5,6
6.4	B'CCGp2PuTwnCtr/ManSwi2ManSwi	Building Jäähdytys.KV Jäähdytysryhmä puhallinkonvektoriverkosto.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.Taajuusmuuttajan 2 ohitus kytkin.HS02 Käskytkin	D20 Normally open	7,8
6.5	B'CCdsCmdCds1PuTwnCtrDetsb/sd1Detsb/sd	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.Taajuusmuuttajanhäiriö 1.SC01 Taajuusmuuttajanhäiriö	D20 Normally open	9,10
6.6	B'CCGp2PuTwnCtrDetsb/sd1Detsb/sd	Building Jäähdytys.KV Jäähdytysryhmä puhallinkonvektoriverkosto.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.Taajuusmuuttajanhäiriö 1.SC01 Taajuusmuuttajanhäiriö	D20 Normally open	11,12
6.7	B'CCdsCmdCds1PuTwnCtrCFbSC1	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.SC01 Indikoiti	D20 Normally open	13,14
6.8	B'CCGp2PuTwnCtrCFbSC1	Building Jäähdytys.KV Jäähdytysryhmä puhallinkonvektoriverkosto.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.SC01 Indikoiti	D20 Normally open	15,16
6.9	B'CCdsCmdCds1PuTwnCtrDetsb/sd2Detsb/sd	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.Taajuusmuuttajanhäiriö 2.SC02 Taajuusmuuttajanhäiriö	D20 Normally open	18,19
6.10	B'CCGp2PuTwnCtrDetsb/sd2Detsb/sd	Building Jäähdytys.KV Jäähdytysryhmä puhallinkonvektoriverkosto.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.Taajuusmuuttajanhäiriö 2.SC02 Taajuusmuuttajanhäiriö	D20 Normally open	20,21
6.11	B'CCdsCmdCds1PuTwnCtrCFbSC2	Building Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.SC02 Indikoiti	D20 Normally open	22,23
6.12	B'CCGp2PuTwnCtrCFbSC2	Building Jäähdytys.KV Jäähdytysryhmä puhallinkonvektoriverkosto.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.SC02 Indikoiti	D20 Normally open	24,25
6.13	B'CCGp3Pu1ManSw/ManSwi	Building Jäähdytys.PV Jäähdytysryhmä palikki-verkosto.Pumppu 1.Taajuusmuuttajan ohitus kytkin.HS Käskytkin	D20 Normally open	26,27

Järjestelmän I/O pistelistat 3 / 4

Project:	Opinnäytetyö Metropolia	Data points(sorted by I/O channel)			
6.14	B'CCGp3HumDefSwi	Building.Jäähdytys.PV Jäähdytysryhmä palkki-verkosto.Kosteusvahti BILLE Kosteustunnistin	D20	28,29	
6.15	B'CCGp3Pu1DsbVsdDsbVsd	Building.Jäähdytys.PV Jäähdytysryhmä palkki-verkosto.Pumppu 1.Taajuusmuuttajajännitys.SCO1 Taajuusmuuttajajännitys	D20	30,31	
6.16	B'CCGp3Pu1CFbSC	Building.Jäähdytys.PV Jäähdytysryhmä palkki-verkosto.Pumppu 1.SCO1 Indikoim	D20	32,33	
				Normally open	
Module Address	7	I/O Module Type	TXM1.8U		
7.1	B'CCdsCmdCds1Vlv	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.FV01 Venttiili	Y10S	7,2,4	
7.2	B'CCdsCmdCds2Vlv	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.FV01 Venttiili	Y10S	7,6,8	
7.3	B'CCdsCmdCds1ReCUn1CMdt	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 1.SCO1 Säätö	Y10S	15,10,12	
7.4	B'CCdsCmdCds2ReCUn1CMdt	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 1.SCO1 Säätö	Y10S	15,14,16	
7.5	B'CCdsCmdCds1ReCUn2CMdt	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 2.SCO2 Säätö	Y10S	24,19,21	
7.6	B'CCdsCmdCds2ReCUn2CMdt	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 2.SCO2 Säätö	Y10S	24,23,25	
7.7	B'CCGp1Pu1CMdt	Building.Jäähdytys.IV Jäähdytysryhmä IV-verkosto.Pumppu 1 SC.SCO1 Säätö	Y10S	32,27,29	
7.8	B'CCGp2Vlv	Building.Jäähdytys.KV Jäähdytysryhmä puhallinverkot.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.SCO1 Säätö	Y10S	32,31,33	
Module Address	8	I/O Module Type	TXM1.8U		
8.1	B'CCdsCmdCds1PuTwnCtrCMdt	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.SCO1 Säätö	Y10S	7,2,4	
8.2	B'CCGp2PuTwnCtrCMdt	Building.Jäähdytys.KV Jäähdytysryhmä puhallinverkot.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.SCO1 Säätö	Y10S	7,6,8	
8.3	B'CCdsCmdCds1PuTwnCtrCMdt1	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.SCO2 Säätö	Y10S	15,10,12	
8.4	B'CCGp2PuTwnCtrCMdt1	Building.Jäähdytys.KV Jäähdytysryhmä puhallinverkot.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.SCO2 Säätö	Y10S	15,14,16	
8.5	B'CCGp3Vlv	Building.Jäähdytys.PV Jäähdytysryhmä palkki-verkosto.FV01 Venttiili	Y10S	24,19,21	
8.6	B'CCGp3Pu1CMdt	Building.Jäähdytys.PV Jäähdytysryhmä palkki-verkosto.Pumppu 1.SCO1 Säätö	Y10S	24,23,25	
Module Address	9	I/O Module Type	TXM1.6R		
9.1	B'CCdsCmdCGpVlvShof	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.Vapaajäähdytys.FV02 Sulkuventtiili	Q250	3,4,2	
9.2	B'CCdsCmdCh1Cmd	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1VJK Vedenjäähdytyskoje.VJK01 Ohjaus	Q250	9,10,8	
9.3	B'CCdsCmdCh2Cmd	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2VJK Vedenjäähdytyskoje.VJK02 Ohjaus	Q250	15,16,14	
9.4	B'CCdsCmdCds1ReCUn1Cmd	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 1.SCO1 Ohjaus	Q250	20,19,21	
9.5	B'CCdsCmdCds2ReCUn1Cmd	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 1.SCO1 Ohjaus	Q250	26,25,27	
9.6	B'CCdsCmdCds1ReCUn2Cmd	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 2.SCO2 Ohjaus	Q250	32,31,33	
Module Address	10	I/O Module Type	TXM1.6R		
10.1	B'CCdsCmdCds2ReCUn2Cmd	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin 2.SCO2 Ohjaus	Q250	3,4,2	
10.2	B'CCdsCmdCds1PuTwnFCCmd1	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.lauhdutusverkon kaksois pumput.PU01 Ohjaus	Q250	9,10,8	
10.3	B'CCdsCmdCds2PuTwnFCCmd1	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.lauhdutusverkon kaksois pumput.PU01 Ohjaus	Q250	15,16,14	
10.4	B'CCdsCmdCds1PuTwnFCCmd2	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.lauhdutusverkon kaksois pumput.PU02 Ohjaus	Q250	20,19,21	
10.5	B'CCdsCmdCds2PuTwnFCCmd2	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.lauhdutusverkon kaksois pumput.PU02 Ohjaus	Q250	26,25,27	
10.6	B'CCdsCmdCh1PuTwnCMCmd1	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1VJK Vedenjäähdytyskoje.VJK Kaksois pumput.PU01 Ohjaus	Q250	32,31,33	
Module Address	11	I/O Module Type	TXM1.6R		
11.1	B'CCdsCmdCh1PuTwnCMCmd2	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1VJK Vedenjäähdytyskoje.VJK Kaksois pumput.PU02 Ohjaus	Q250	3,4,2	
11.2	B'CCdsCmdCh2PuTwnCMCmd1	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2VJK Vedenjäähdytyskoje.VJK Kaksois pumput.PU01 Ohjaus	Q250	9,10,8	
11.3	B'CCdsCmdCh2PuTwnCMCmd2	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2VJK Vedenjäähdytyskoje.VJK Kaksois pumput.PU02 Ohjaus	Q250	15,16,14	

Järjestelmän I/O pistelistat 4 / 4

Project:	Opinnäytetyö Metropolia	Data points(sorted by I/O channel)		
11.4	B'C'CGp1Pu1Cmd	Building.Jäähdytys.IV.Jäähdytysryhmä.IV-verkosto.Pumppu 1 SC.PU01 Ohjauk	Q250	20,19,21
11.5	B'C'CGp1Pu2Cmd	Building.Jäähdytys.IV.Jäähdytysryhmä.IV-verkosto.Pumppu 2.PU02 Ohjauk	Q250	26,25,27
11.6	B'C'CdsCmdCds1PuTwnCtrCmd1	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.PU01 Ohjauk	Q250	32,31,33
Module Address	12	I/O Module Type	TXM1.6R	
12.1	B'C'CGp2PuTwnCtrCmd1	Building.Jäähdytys.KV.Jäähdytysryhmä puhallinonvektoriverkosto.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.PU01 Ohjauk	Q250	3,4,2
12.2	B'C'CdsCmdCds1PuTwnCtrCmd2	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.PU02 Ohjauk	Q250	9,10,8
12.3	B'C'CGp2PuTwnCtrCmd2	Building.Jäähdytys.KV.Jäähdytysryhmä puhallinonvektoriverkosto.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.PU02 Ohjauk	Q250	15,16,14
12.4	B'C'CGp3Pu1Cmd	Building.Jäähdytys.PV.Jäähdytysryhmä.palkki-verkosto.Pumppu 1.PU01 Ohjauk	Q250	20,19,21
12.5	B'C'CGp3Pu2Cmd	Building.Jäähdytys.PV.Jäähdytysryhmä.palkki-verkosto.Pumppu 2.PU02 Ohjauk	Q250	26,25,27
Module Address	13	I/O Module Type	TXM1.16D	
13.1	B'C'CdsCmdCds1ReCUn1CFb	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin.1.SC01 Indikoiti	D20 Normally open	1,2
13.2	B'C'CdsCmdCds2ReCUn1CFb	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin.1.SC01 Indikoiti	D20 Normally open	3,4
13.3	B'C'CdsCmdCds1ReCUn2CFb	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin.2.SC02 Indikoiti	D20 Normally open	5,6
13.4	B'C'CdsCmdCds2ReCUn2CFb	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.Lauhdutinpuhallin.2.SC02 Indikoiti	D20 Normally open	7,8
13.5	B'C'CdsCmdCds1PuTwnFCFb1	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.lauhdutusverkoston kaksois pumput.PU01 Indikoiti	D20 Normally open	9,10
13.6	B'C'CdsCmdCds2PuTwnFCFb1	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.lauhdutusverkoston kaksois pumput.PU01 Indikoiti	D20 Normally open	11,12
13.7	B'C'CdsCmdCds1PuTwnFCFb2	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.lauhdutusverkoston kaksois pumput.PU02 Indikoiti	D20 Normally open	13,14
13.8	B'C'CdsCmdCds2PuTwnFCFb2	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2 NJ Lauhdutin ryhmä.lauhdutusverkoston kaksois pumput.PU02 Indikoiti	D20 Normally open	15,16
13.9	B'C'CdsCmdCh1PuTwnCMCFb1	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1VJK Vedenjäähdytyskoje.VJK Kaksois pumput.PU01 Indikoiti	D20 Normally open	18,19
13.10	B'C'CdsCmdCh1PuTwnCMCFb2	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1VJK Vedenjäähdytyskoje.VJK Kaksois pumput.PU02 Indikoiti	D20 Normally open	20,21
13.11	B'C'CdsCmdCh2PuTwnCMCFb1	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2VJK Vedenjäähdytyskoje.VJK Kaksois pumput.PU01 Indikoiti	D20 Normally open	22,23
13.12	B'C'CdsCmdCh2PuTwnCMCFb2	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.2VJK Vedenjäähdytyskoje.VJK Kaksois pumput.PU02 Indikoiti	D20 Normally open	24,25
13.13	B'C'CGp1Pu1CFb	Building.Jäähdytys.IV.Jäähdytysryhmä.IV-verkosto.Pumppu 1 SC.PU01 Indikoiti	D20 Normally open	26,27
13.14	B'C'CGp1Pu2CFb	Building.Jäähdytys.IV.Jäähdytysryhmä.IV-verkosto.Pumppu 2.PU02 Indikoiti	D20 Normally open	28,29
13.15	B'C'CdsCmdCds1PuTwnCtrCFb1	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.PU01 Indikoiti	D20 Normally open	30,31
13.16	B'C'CGp2PuTwnCtrCFb1	Building.Jäähdytys.KV.Jäähdytysryhmä puhallinonvektoriverkosto.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.PU01 Indikoiti	D20 Normally open	32,33
Module Address	14	I/O Module Type	TXM1.16D	
14.1	B'C'CdsCmdCds1PuTwnCtrCFb2	Building.Jäähdytys.Jäähdytys ohjaukset.1 NJ Lauhdutin ryhmä.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.PU02 Indikoiti	D20 Normally open	1,2
14.2	B'C'CGp2PuTwnCtrCFb2	Building.Jäähdytys.KV.Jäähdytysryhmä puhallinonvektoriverkosto.Kaksois pumput taajuusmuuttaja.PU02 Indikoiti	D20 Normally open	3,4
14.3	B'C'CGp3Pu1CFb	Building.Jäähdytys.PV.Jäähdytysryhmä.palkki-verkosto.Pumppu 1.PU01 Indikoiti	D20 Normally open	5,6
14.4	B'C'CGp3Pu2CFb	Building.Jäähdytys.PV.Jäähdytysryhmä.palkki-verkosto.Pumppu 2.PU02 Indikoiti	D20 Normally open	7,8